

**LEON DĂNĂILĂ**

**MIHAI GOLU**

# **TRATAT DE NEUROPSIHOLOGIE**

**Vol. I.**



**EDITURA MEDICALĂ  
BUCUREȘTI, 2 000**

Coperta de: **ADRIAN CONSTANTINESCU**

„Toate drepturile editoriale aparțin în exclusivitate Editurii Medicale. Publicația este marcă înregistrată a Editurii Medicale, fiind protejată integral de legislația internă și internațională. Orice valorificare a conținutului în afara limitelor acestor legi și a permisiunii editorilor este interzisă și pasibilă de pedeapsă. Acest lucru este valabil pentru orice reproducere - integrală sau parțială, indiferent de mijloace (multiplicări, traduceri, microfilmări, transcrieri pe dischete etc.).“

ISBN 973-39-0397-3

Redactor de carte: **Dr. RADU RIZESCU**

Tehnoredactor: **PRIMAVERA PANAIT**

Secretar de redacție: **MARIA-ELENA NEAMȚ**

Bun de tipar: 05-XI-1999

Formatul: 16/70 × 100

Hârtie: scris IA 70 × 100/60 g/m<sup>2</sup>

Coli tipar: 40,75

Tehnoredactarea computerizată a fost realizată de :  
**TOP GAL S.R.L.**



# CUPRINS

PREFAȚĂ .....	9
<b>Capitolul I RAPORTUL PSIHIC CREIER</b> .....	17
Specificul mecanismului funcției psihice .....	34
<b>Capitolul II STRUCTURA MICROSCOPICĂ ȘI BIOCHIMIA SNC AL OMULUI</b> .....	37
Introducere .....	37
Neuronul .....	39
Celulele nevrogliale .....	46
Canalele ionice și potențialul de membrană celulară .....	47
Potențialul de repaus .....	50
Neuronul și semnalizarea .....	52
Potențialul de acțiune .....	53
Pompa $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ .....	55
Contribuția ionilor de calciu .....	57
Contribuția ionilor de $\text{Cl}^-$ .....	58
Inhibiția postsinaptică .....	59
Inhibiția presinaptică .....	59
Codificarea informației .....	60
Impulsul nervos .....	60
Principiul tot sau nimic .....	62
Sumația spațială și temporală .....	63
Tipuri de nervi .....	63
Sinapsa .....	64
Dendritele și excitarea neuronilor .....	68
Sinapsele chimice .....	68
Inputurile primite de neuroni pot fi excitatoare sau inhibitoare .....	71
Conexiunile sinaptice ne permit să gândim, să acționăm și să ne reamintim .....	73
Sistemul neuronal .....	74
Facilitarea .....	74
Convergența .....	75
Divergența .....	75
Transformarea informației .....	75
Sinteza și traficul proteinelor neuronale .....	78
Transmiterea directă la nivelul sinapsei nerv-mușchi .....	79
Transmiterea cu poartă directă la nivelul sinapselor centrale .....	81
Transmiterea sinaptică mediată de un al doilea mesager .....	84
Eliberarea transmițătorului .....	85
Transmiterea inputurilor la celulele țintă prin canalele dirijate (cu poartă) se face prin convertirea din nou a semnalelor chimice în semnale electrice. ....	89
Istoricul descoperirii neurotransmițătorilor .....	89
Mesageri chimici, micile molecule și peptidele .....	91
Substanțe neurotransmițătoare .....	93
Acetilcolina (ACh) .....	95

Dopamina (DA) .....	97
Norepinefrina (noradrenalina) .....	98
Epinefrina (adrenalina) .....	100
Serotonina (5-HT) .....	100
Histamina .....	101
Transmițători aminoacizi .....	102
Peptide neuroactive .....	103
Semnificația peptidelor în fiziologia creierului .....	106
Deosebirea dintre transmițătorii cu moleculă mică și peptide .....	110
Concluzii .....	112
Veziculele sinaptice .....	113
Maladii ale transmiterii chimice de la nivelul sinapsei nerv- mușchi: miastenia gravis .....	120
<b>Capitolul III ANATOMIA FUNCȚIONALĂ A SISTEMULUI NERVOS</b> .....	125
Introducere .....	125
<b>I. MĂDUVA SPINĂRII</b> .....	129
Structura măduvei spinării .....	130
Arhitectura lamelară a substanței cenușii .....	134
Substanța albă .....	137
Nervii spinali .....	139
Căile senzitive .....	140
Căile motorii .....	143
Fiziologia măduvei .....	144
Sindroame clinice produse de leziunile rădăcinilor nervoase și ale măduvei spinării .....	146
Sindroame medulare caracteristice .....	153
Aspecte psihosociale și psihoterapeutice ale bolnavilor medulari .....	160
<b>II. BULBUL RAHIDIAN (medula oblongata)</b> .....	164
Structura bulbului .....	167
Funcțiile bulbului .....	170
<b>III. PUNTEA (Puntea lui Varioli)</b> .....	171
Fiziologia punții .....	174
<b>IV. MEZENCEFALUL</b> .....	174
Tectul mezencefalic .....	181
<b>SINDROAME CLINICE PRODUSE DE LEZIUNI</b>	
<b>ALE TRUNCHIULUI CEREBRAL</b> .....	183
Sindroame vasculare caracteristice .....	189
Sindroamele mediale ale bulbului și punții .....	190
Sindroame laterale ale bulbului și punții .....	190
Sindroamele protuberanțiale .....	192
Sindroame mezencefalice .....	194
<b>V. FORMAȚIA RETICULATĂ</b> .....	195
Caracteristici anatomice .....	195
Fiziologia formației reticulate .....	196
Biochimia formației reticulate .....	199
Sindroame de tip reticulat .....	205

VI. CEREBELUL	210
Coordonate anatomice	210
Rolul cerebelului în învățarea senzoriomotorie	229
Neocerebelul și funcțiile non-motorii	232
Cerebelul și învățarea la animale	233
Clinica sindromului pseudo-parietal și pseudo-frontal	235
Cerebelul și moleculele mesager	236
Modificarea de lungă durată a solidității sinaptice: plasticitatea sinaptică.	240
Maladiile cerebeloase dau semne și simptome distincte.	241
VII. DIENCEFALUL	242
TALAMENCEFALUL	243
TALAMUSUL	243
Nucleii talamici	244
Conexiunile talamusului	244
Particularități funcționale ale nucleilor formațiunilor talamencefalice	247
Raporturile corticotalamice	249
Concluzii	250
Considerații clinice	251
METATALAMUSUL	258
EPITALAMUSUL	259
SUBTALAMUSUL	263
HIPOTALAMUSUL	265
Nucleii hipotalamusului	266
Conexiunile hipotalamusului	268
Funcțiile hipotalamusului	270
Reglarea sistemului neuroendocrin	270
Neuronii hipotalamici participă la patru clase de reflexe	277
Funcția de reproducere are o integrare complexă.	280
Reglarea sistemului nervos autonom și a funcțiilor vegetative	281
Hipotalamusul și motivația	287
Reglarea temperaturii corpului	289
Reglarea foamei și a aportului de hrană	294
Hipotalamusul și obezitatea	297
Hipotalamusul, anorexia și emaciarea	300
Reglarea setei și a ingestiei de lichide	301
Tulburarea echilibrului hidric	304
Diabetul insipid	305
Sindromul de hipernatremie esențială	306
Sindromul de secreție crescută de HAD și sete normală	307
Alte funcții hipotalamice	308
Localizarea cesornicului circadian	319
Genele și proteinele care dirijează ceasul biologic	321
Rolul glandei pineale în determinarea ritmurilor	322
Biochimia cesornicului biologic	325
Reglarea somnului	326
Somnul	328



Rolul receptorilor 5-HT <sub>1B</sub> în reglarea somnului paradoxal	332
Stadiile somnului normal	332
Efectul depleției acute diurne de triptofan asupra somnului omului normal	337
Visele și fiziologia somnului	337
Tulburările somnului	338
Narcolepsia	338
Hipersomniile	343
Parasomniile	347
Somnolența și oboseala din sindromul de rezistență a căilor aeriene superioare (SRCAS)	349
Apneea din timpul somnului	350
Insomnia	351
Somnul bătrânilor	353
VIII. TELENCEFALUL	354
HEMISFERELE CEREBRALE	354
Suprafața hemisferelor cerebrale	355
SISTEMUL LIMBIC	362
Caracteristici generale	362
Hipocampusul	365
• Sistemul hipocampic și memoria	370
• Leziunile fornixului și pierderea memoriei	373
• Efectele lezării fornixului la om	375
Amigdală	376
Amigdală și simptomatologia epilepsiei de lob temporal	380
Fenomenele autonome și visceromotorii ale crizelor de lob temporal	380
Modificări afective	381
Fenomene perceptuale	382
• Fenomenul memoriei	384
• Rolul amigdalei în procesele memoriei perceptuale și afective	384
Amigdală și automatismul epileptic	387
Teama din epilepsia temporală și atrofia amigdalei	390
• Amnezia din epilepsia de lob temporal	392
Substratul anatomic al PAS	394
Aria septală	395
Aspecte funcționale ale septului	397
Aspecte funcționale ale sistemului septo-hipocampic	398
• Regiunea septală și memoria	399
Ganglionii bazali	403
Talamusul	403
• Amnezia diencefalică	404
• Amnezia diencefalică în alte afecțiuni decât în sindromul Korsakow	408
Cortexul cerebral	410
Concluzii	412
Sistemul nervos vegetativ - date generale	413
NUCLEII BAZALI	414
Corpul amigdaloid (complexul nuclear amigdaloid, amigdală, arhistriatum)	415

Clastrum .....	420
Nucleul caudat .....	421
Nucleul lentiform .....	421
Substanța neagră. ....	425
Tulburări cognitive și comportamentale ale pacienților cu leziuni ale ganglionilor bazali. ....	430
<b>SUBSTANȚA ALBĂ</b> .....	447
<b>FIBRELE COMISURALE</b> .....	447
Corpul calos .....	447
Fibrele caloase .....	450
Funcțiile și clinica corpului calos .....	451
Sindromul de deconexiune .....	452
Transferul informațiilor senzoriale .....	454
Transferul informațiilor motrice .....	458
Transferul informațiilor complexe organizate asimetric .....	460
Corpul calos și limbajul .....	460
Corpul calos și lectura .....	461
Corpul calos și aptitudinile vizual-spațiale .....	463
Corpul calos și activitățile praxice și grafometrice .....	463
Corpul calos și memoria .....	464
Corpul calos și atenția .....	464
Corpul calos și funcțiile emoționale .....	465
Transferul interhemisferic al comportamentelor elaborate .....	466
Fuziunea mediană .....	466
Timpul de transfer interhemisferic .....	467
Specificitatea fibrelor caloase .....	467
Agenezia corpului calos .....	469
Tumori și bolile degenerative ale corpului calos .....	471
Concluzii .....	471
Comisura anterioară .....	473
Comisura posterioară .....	474
Comisura hipocampică .....	474
<b>FIBRELE DE ASOCIAȚIE</b> .....	474
<b>FIBRELE DE PROIECȚIE</b> .....	476
Capsula internă .....	476
<b>SCOARȚA CEREBRALĂ</b> .....	477
Aspecte cantitative ale structurii corticale .....	477
Neuronii cortexului cerebral .....	478
Aspectul laminar al cortexului cerebral .....	480
Particularități structural funcționale ale zonelor corticale posterioare .....	483
Ariile corticale .....	484
Cortexul somatosenzorial .....	484
Cortexul vizual .....	488
Cortexul auditiv .....	498
Cortexul vestibular .....	504
Cortexul gustativ .....	504

Cortexul olfactiv .....	508
Concluzii privind structura și funcțiile cortexului posterior .....	511
Particularități structural-funcționale ale zonelor corticale anterioare .....	512
Concluzii privind structura și funcțiile cortexului anterior. ....	521
Particularitățile structural-funcționale ale zonelor mediobazale ale scoarței cerebrale ...	523
<b>Capitolul IV METODE ȘI TEHNICI DE INVESTIGARE</b> .....	525
Introducere .....	525
<b>I. METODE ȘI TEHNICI FIZIOLOGICE</b> .....	526
Stimularea și înregistrarea electrică .....	527
Stimularea și înregistrarea chimică .....	539
Analiza lichidului cefalorahidian (LCR) .....	540
Metode fiziologice globale .....	541
<b>II. METODE ȘI TEHNICI ANATOMICE</b> .....	542
Metoda leziunilor anatomice .....	542
Metode neuropatologice .....	546
Examinarea neuroradiologică .....	552
Tomografia cu pozitroni. ....	565
Studii radioizotopice cerebrale .....	569
<b>III. METODE PSIHOLOGICE</b> .....	571
Metoda analizei produselor activității .....	573
Metoda testelor .....	573
Metoda experimentală și de laborator .....	575
Metoda genetică și comparată .....	579
Metoda logico-matematică, logico-formală și cibernetică .....	582



## PREFAȚĂ

*Interdisciplinaritatea se impune tot mai pregnant ca o legitate esențială a cunoașterii științifice contemporane. Ea se afirmă nu numai în raporturile dintre domeniile conexe ale aceleiași discipline, ci și în raporturile dintre științele care, aparent, nu au nimic comun între ele, cum sunt științele tehnice, științele biologice și cele sociale.*

*Cercetarea interdisciplinară, care vizează corelarea și integrarea într-un model logico-operațional unitar a diverselor unghiuri de abordare-interpretare ale unuia și aceluiași domeniu al realității, este un imperativ impus de însăși logica internă a evoluției cunoașterii. Noul curs în evoluția cunoașterii științifice se concretizează în constituirea unor orientări metodologice apte să favorizeze și să medieze efectiv realizarea procesului de integrare și interdisciplinarizare și ele sunt reprezentate de cibernetica generală, de teoria informației, de teoria comunicării, de semiotică, de teoria generală a sistemelor și de sinergetică. O știință închisă, izolată, oricât ar fi ea de rafinată, are o valoare instrumentală (explicativă și aplicativă), incomparabil mai mică decât o știință deschisă, adică relaționată dinamic și dialectic cu altele elaborate dintr-o altă perspectivă și pe altă cale. Poate că în nici un alt domeniu principiul integrării interdisciplinare, intersistemic nu se impune cu atâta stringență și nu-și dovedește extraordinara sa fertilitate ca în domeniul cunoașterii complexității reale a omului, a organizării sale structurale și funcționale și a optimizării modalităților de educație și terapie.*

*Apariția psihoneurologiei, ca disciplină de graniță între științele neurale, psihologie, științele sociale și științele tehnice (tehnica comunicațiilor, tehnica computațională, tehnica inteligențelor artificiale etc.) este rezultatul tocmai al traducerii în viață a exigențelor acestei orientări metodologice, respectiv, a principiului interdisciplinarității și a complementarității.*

*Există, relativ, multe denumiri date în decursul timpului domeniului psihoneurologiei, respectiv, neuropsihologiei care au în linii mari aceleași semnificații.*

*Astfel, în secolul trecut, studiul relațiilor dintre procesele mintale, comportament și procesele fiziologice a fost cunoscut sub numele de psihologie fiziologică. Cei care au vrut să evidențieze caracterul larg al domeniului au folosit numele de psihologie biologică. Alți cercetători, axându-se pe studiul proceselor fiziologice sau neurologice, au folosit termenul de fiziologie a comportamentului sau pe cel de neuroștiință a comportamentului. În alte situații, s-a căutat să se evidențieze relația dintre psihologie și neurologia clinică. În acest caz s-a folosit termenul de neuropsihologie sau neurologie comportamentală (Rosenzweig și Leiman, 1989). Termenul de psihoneurologie nu se deosebește în esență de cel de neuropsihologie deoarece psihoneurologia are drept scop studierea bazei neurofiziologice a*

proceselor psihice, a limbajului și a comportamentului, precum și evidențierea aspectelor clinice ale acestora.

Testele psihoneurologice destinate evaluărilor de mai sus au fost elaborate în scopul verificării structurilor gândirii și a structurii emoționale a subiectului. Și în medicină au apărut domenii mai noi, care se preocupă de aceeași problemă: medicina psihosomatică, medicina comportamentală etc. În acest context au început și primele studii ce permit investigarea originii biochimice a unor dereglări comportamentale ca schizofrenia, toxicomania și alcoolismul.

Prin separarea chirurgicală a celor două hemisfere cerebrale și prin studierea bolnavilor cu leziuni hemisferice drepte sau stângi s-a putut preciza rolul fiecărei hemisfere în integrarea proceselor psihice și a actelor comportamentale, inclusiv a celor verbale. Astfel, s-a descoperit că prelucrarea informației se face diferit în hemisfera stângă față de cea dreaptă, prima având o modalitate analitică și verbală de manifestare, în timp ce a doua (dreaptă) poate fi caracterizată ca predominant spațială și holistică.

Problema cea mai complicată, care a dat naștere unor aprige dispute, cu rezonanțe în plan filosofic și cultural general, este cea a raportului psihic-creier.

Abordarea și rezolvarea acestei probleme în mod concret-științific nu a fost posibilă atâta vreme cât creierul se studia ca entitate în sine, fără a se ține seamă de datele și unghiul de vedere al psihologiei, și atâta timp cât psihicul se analiza ca organizare în sine, fără o raportare adecvată la datele anatomiei și fiziologiei sistemului nervos, neurologiei și neurochirurgiei.

Grație adoptării în ultimile decenii a metodologiei sistemice și a principiului interdisciplinarității, a devenit pregnantă necesitatea constituirii unei științe interdisciplinare care să poată cuprinde și aborda problema raportului psihic-creier sub toate aspectele și în toată complexitatea sa. O asemenea știință este psihoneurologia sau neuropsihologia.

Astăzi, când pe plan mondial asistăm la o puternică impulsională a dezvoltării ei, lucrările monografice sau de sinteză din acest domeniu sunt de o deosebită actualitate și se bucură de un interes major din partea reprezentanților tuturor științelor. Deocamdată volumul cercetărilor de acest gen este cu totul insuficient față de complexitatea fenomenelor ce se cer a fi analizate și explicate din perspectivă sistemic-interdisciplinară.

Psihoneurologia trebuie privită ca știința care studiază problema raportului psihic-creier în întreaga sa complexitate, trebuind să utilizeze și să decanteze atât datele experimentelor de laborator efectuate pe animale și pe om, cât și datele oferite de clinica neurologică și neurochirurgicală. Prin aceasta, psihoneurologia nu este doar o disciplină experimentală sau clinică, ci una fundamentală. De aici decurge și cel de-al doilea aspect referitor la relația dintre teoretic și aplicativ în cadrul său. În acest context, trebuie să subliniem pe de o parte, ideea admiterii și realizării modelelor teoretice explicative generale, iar pe de altă parte, necesitatea găsirii unor noi modalități de intervenție și acțiune practică, atât în sfera vieții și activității normale, cât și în cea a clinicii.



Astfel, din punct de vedere teoretic, putem afirma cu certitudine că identitatea individuală, personalitatea și talentul sunt în primul rând funcții cerebrale. Dar explicarea concretă a modului de realizare a acestor funcții este o chestiune de cercetare sistematică, multidimensională sau plurifactorială.

Astăzi, studiul organizării psihoneurocomportamentale se desfășoară pe patru direcții principale:

1. Direcția descriptivă centrată pe o abordare analitico-structurală în urma căreia, se pot evidenția elementele componente ale unui anumit comportament, succesiunea acestora în spațiu și timp și corelațiile ce se stabilesc între ele în vederea alcătuirii schemei comportamentale finale. Abordarea funcțională permite studiul rolului specific al diferitelor componente în cadrul activității psihice generale a unui individ.

2. Direcția evoluționistă, în cadrul căreia se urmărește atât desprinderea și formularea unor legități generale ale devenirii organizării psihocomportamentale pe toată scara animală cât și relevarea diferențelor calitative care există între nivelurile ierarhiei filogenetice.

3. Direcția ontogenetică, extrem de importantă la nivelul omului, care permite stabilirea stadiilor pe care le parcurg diferitele entități psihocomportamentale până la desăvârșire și maturizare, în strânsă dependență de maturizarea structurilor cerebrale, a maturării diferitelor comportamente legată de maturarea unui set de neuroni sau a unui anumit circuit neuronal.

4. Direcția neuropsihologică sau psihoneurologică, în cadrul căreia accentul cade pe dezvăluirea și explicarea mecanismelor concrete prin care se realizează la nivelul creierului un act psihocomportamental sau altul.

În cadrul fiecărui mecanism intră componenta fiziologică (biochimică sau electrică) ce asigură producerea comportamentului respectiv și componenta morfologică (tipul de neuroni, sinapse și circuite neuronale) care susține manifestarea fiziologică.

În lucrarea noastră, trece ca un fir roșu ideea intercondiționării și unității contradictorii a fiziologicului cu psihologicul, a congenerității complexității structural funcționale a creierului și complexității organizării psihocomportamentale, a dependenței legice a dezvoltării și perfecționării activității cerebrale de natura și complexitatea situațiilor și solicitărilor externe de adaptare.

În ultimul timp, se manifestă un interes crescând pentru alte două componente: cea cibernetică, creierul considerat ca o rețea de tip computer cu autoreglare, și cea fizică, ilustrată de câmpurile electromagnetice care însoțesc activitatea psihică, de schimbul de particule elementare, precum și de orice alt proces fizic, ce permite realizarea de analogii între sistemele vii și cele nevii (Giaquito 1990, Stowell 1990).

Din punct de vedere practic, există multe domenii care necesită studii de psihoneurologie. Astfel de domenii sunt: neurologia clinică, psihologia clinică, medicina psihosomatică, pedagogia, îndrumarea și selecția profesională etc.

În cadrul medicinei psihosomatice tratamentele trebuie să țină cont și de determinismul psihologic al maladiilor care poate ajunge până la un procentaj de 50%. Pe de altă parte, se consideră că 65% din maladii au o bază pur psihosomatică. Având în vedere datele de mai sus, astăzi, în terapia clasică a diferitelor maladii, își fac loc tot mai mult tehnicile psihologice de genul: utilizării râsului care produce ameliorarea respirației, creșterea numărului de celule cu activitate imunitară și eliberarea de endofrine, sau înlăturării stresului psihic, prin discuții plăcute și prin vizite (la domiciliu) efectuate de prieteni, cadre medicale medii și psihologi, etc.

Asocierea stresului psihologic și depresiei cu diminuarea funcției imune mediate celular constituie un fapt bine stabilit. Prin urmare, starea psihică are un rol important atât în menținerea stării de sănătate cât și în dezvoltarea bolilor. Orice boală este un continuum care se extinde de la etiologii predominant organice la etiologii predominant psihosociale.

Domeniile psihoneurologiei, în care se fac studii și cercetări susținute, sunt numeroase. În această direcție, relevăm relația strânsă care există între sistemul imunitar și starea psihică. Efectul emoțiilor și frustrației asupra susceptibilității și rezistenței organismului la diferite maladii este cunoscut din cele mai vechi timpuri. Studiile clinice cu privire la influența factorilor psihologici asupra sistemului imunitar au început însă abia în anul 1960 cu lucrarea de pionierat a lui Black și colab. (1960). Autorii au demonstrat că răspunsul de hipersensibilizare a pielii poate fi întârziat prin sugestie și hipnoză.

Cercetările ulterioare pledează în favoarea reducerii funcției imune mediată celular atât în timpul depresiei cât și în timpul evenimentelor adverse ale vieții. Deși scăderea parametrilor imunologici la persoanele depresive este bine demonstrată, nu s-a ajuns încă la nici o concluzie fermă cu privire la implicațiile clinice ale reducerii citotoxicității, alterării subpopulațiilor celulelor T și a diminuării răspunsului limfocitar la factorii mitogeni. Această modalitate de abordare interdisciplinară pare să dea naștere la o nouă disciplină: psihoneuroimunologia.

Cercetarea modului de acțiune al hormonilor și neurotransmițătorilor a adus date noi cu privire la rolul pe care aceste substanțe îl au în reglarea comportamentului.

Diferite regiuni ale creierului conțin opioide endogene care pot elimina durerea, iar în anumite cazuri sunt chiar mai eficace decât morfina.

Stimulările cu electrozi implantați în regiuni cerebrale ce conțin opioizi produc eliminarea durerii pentru o perioadă mai lungă de timp decât durata stimulării.

Dezvoltarea psihofarmacologiei moderne a dus la descoperirea unor medicamente extrem de eficace în tratarea unor boli mintale. Primul medicament psihoactiv, clorpromazina, a fost introdus în 1952, iar utilizarea lui pe scară largă a început în anul 1954.



*În privința naturii psihicului uman, psihoneurologia contemporană vine cu o perspectivă nouă, bazată pe principiul comunicării și interacțiunii informaționale a creierului cu sursele de semnale din lumea externă și din mediul intern al organismului.*

*Astfel, afirmația unanim cunoscută și acceptată că psihicul este o funcție a creierului trebuie precizată și particularizată prin sublinierea faptului că psihicul se realizează ca funcție de receptare-prelucrare-interpretare-stocare a informației, iar informația, care se constituie prin prelucrări și integrări succesive la nivelul creierului în entități relativ distincte, pe care le numim procese și stări psihice, este furnizată de diversele categorii de semnale mecano-fizico-chimice și socio-culturale, ce acționează din afară asupra receptorilor individului. La naștere copilul nu posedă o organizare psihică încheiată dar nici nu este o tabula-rasa. Din punct de vedere biofiziologic el dispune de un grad de organizare suficient de ridicat, care îi permite să intre într-un proces de comunicare relativ activ și selectiv cu mediul extern. Apoi, copilul se naște cu o viață psihică elementară constituită în embriogeneză, pe baza interacțiunii cu mediul intrauterin. În fine, prin mecanismul codului genetic, fătului îi sunt transmise de la părinți anumite trăsături și predispoziții, pulsuni și tendințe. Această zestre ereditară are un rol important atât în ceea ce privește ritmul cât și traiectoria de conținut sau aspectul calitativ al dezvoltării psihice individuale. Din punct de vedere al dezvoltării psihice optime, raportul dintre factorii externi și condițiile interne este simetric și reversibil, absența auzului (condiție internă) are același efect asupra dezvoltării percepției auditive ca și absența sunetelor (factor extern), deficitul funcțional al creierului (condiție internă) se răsfânge la fel de negativ asupra dezvoltării intelectuale ca și deficitul de instruire și de informație (factor extern) etc.*

*În etapele timpurii ale psihogenezei precumpănește influența factorilor externi. În etapele târzii ale psihogenezei, când structurile cognitive, motivaționale, instrumentale, reglatorii etc. tind să se consolideze și să se autonomizeze, ponderea principală trece de partea condițiilor și organizării interne a individului.*

*Sub aspect comportamental se ajunge la concluzia că sensul de derulare a stadiilor dezvoltării psihice rezidă în trecerea de la determinarea externă la autodeterminare pe bază de analiză-evaluare-decizie-corecție. Orice dezvoltare psihică presupune, pe de o parte, transformarea influențelor externe în conținuturi și stări subiective interne, iar pe de altă parte, transformarea prin intermediul acțiunii a conținuturilor și stărilor subiective interne în produse externe obiectivate. Prin urmare, sursa dezvoltării psihice a omului o constituie nu un mediu extern brut, ci unul umanizat, impregnat de subiectivitate, adică de efectele obiectivării scopurilor subiective în cursul practicii social istorice.*

*În cadrul mulțimii factorilor externi care participă direct la formarea și la dezvoltarea proceselor și structurilor psihice ale omului, rolul determinant revine factorilor sociali.*

*Conținutul diferitelor procese și structuri psihice ale omului constă în sisteme de cunoaștere despre diferitele domenii și laturi ale realității (fizică,*

chimică, biologică, istorică, astronomică etc.), în sisteme de criterii și etaloane de apreciere și clasificare a obiectelor și fenomenelor din jur, în sisteme de valori artistice, morale etc., în sisteme de operații și procedee mintale de manipulare a cunoștințelor, uneltelor și obiectelor cu care individul vine în contact, în sisteme de semnificații, reguli și norme, pe baza cărora devin posibile reglarea adecvată a conduitei și punerea ei de acord cu exigențele vieții sociale etc.

Diversitatea extraordinară a organizării și dezvoltării psihicului uman depinde, pe de o parte, de creier (de mobilitatea, echilibrul și forța proceselor nervoase fundamentale, de capacitatea informațională rezolutivă a creierului), iar pe de altă parte, de complexitatea obiectivă a mediului și vieții sociale.

Stimulentul esențial al dezvoltării funcțiilor rezolutiv-integrative ale creierului este informația. Nivelul cel mai înalt de realizare a integrării informației îl reprezintă procesele psihice cognitive.

Psihicul uman este din punct de vedere ontologic esențialmente informație, subordonându-se și satisfăcând aceleași principii și condiții de generare, structurare și funcționare ca și informația.

Atât psihicul cât și informația nu pot fi calificate nici ca substanță și nici ca energie și nici nu posedă însușiri fizice sau metrice sensibile, nemijlocit perceptibile. Prezența și individualitatea componentelor psihice se evidențiază numai prin intermediul actelor comportamentale.

Orice proces psihic se subordonează principiului comenzii și controlului, mijlocind și reglând dinamica raporturilor individului cu lumea externă. Genetic, apariția psihicului a fost determinată de necesitatea obiectivă de adaptare la mediu în condițiile unui mod de existență dinamic, caracteristic animalelor. Omul are cea mai mare capacitate adaptativă susținută de dezvoltarea extraordinară a funcțiilor și proceselor psihice, îndeosebi a celor de cunoaștere.

Ca structură informațională, psihicul uman reprezintă sistemul cel mai complex din univers.

Ca elemente componente sistemul psihic uman include entități de tip cognitiv, ca senzații, percepții, reprezentări, gândire (judecăți, raționamente) care permit o orientare adecvată în raport cu obiectele și fenomenele externe; entități de tip motivațional ce conțin informație despre stările de necesitate, semnalizând deviațiile de la echilibrul homeostatic sau de la tendințele și finalitățile evolutive ale sistemului individului (motivele de dezvoltare); entități de tip emoțional-afectiv, care incorporează în ele informații despre raportul dintre semnificația situațiilor și evenimentelor externe și dinamica motivațională a sistemului individului, eliberând și dirijând corespunzător tensiunea ergică, pe baza căreia se realizează și se susțin actele comportamentale deschise (exteriorizate) sau ascunse, inaparente; scheme și repertorii de operații și acțiuni interne (mintale) și externe (psihomotorii) de valorificare și utilizare adaptativă a conținuturilor informaționale de ordin cognitiv și afectiv.



*Deosebirea esențială a psihicului uman de cel animal rezidă tocmai în aparata integrării de tip conștient. Fiecare proces psihic individualizat dobândește, la nivelurile sale superioare, corticale de integrare, attributele conștientizării, realizându-se ca fapt de conștiință.*

*Procesul care concentrează în sine cel mai pregnant determinațiile structurale și funcționale ale conștiinței este gândirea. A fi conștient devine echivalent cu a gândi. Nivelul de organizare-dezvoltare a conștiinței depinde în foarte mare măsură de gradul de dezvoltare-integrare a conținuturilor și structurilor operatorii ale gândirii.*

*În planul deteriorărilor patologice, alterările zise ale conștiinței se înpletesc strâns cu alterările gândirii și invers. Firește, din cele menționate nu trebuie pus semnul identității între conștiință și gândire. Ca structură înglobantă cu emergență specifică, conștiința nu își epuizează toate determinațiile sale în gândire, care, chiar dacă este componenta sau latura cea mai importantă a ansamblului, rămâne totuși o componentă particulară. Nivelurile integrative ierarhice se articulează și se întrepătrund într-un sistem unitar, iar între nivelul organizării de tip conștient și cel al organizării de tip inconștient există o permanentă interacțiune și intercondiționare cu raporturi de concordanță (consonanță) și discordanță (disonanță, conflict). Astfel, fiecare act comportamental se realizează pe baza medierii atât a conștientului, cât și a inconștientului. Departe de a fi compartimente ermetice și opuse ireconciliabil unul altuia, inconștientul și conștientul comunică și se întrepătrund în permanență.*

*Mecanismele conștiinței exercită un rol reglator dominant asupra celor inconștiente. Structurându-se preponderent pe motivația biologică primară, inconștientul este sub aspect dinamic rezultatul unor secvențe de tip impuls-reacție, între stimuli și reacțiile vegetativ motorii de răspuns existând legături directe și relativ constante, de tip reflex necondiționat. Incatenarea mai multor secvențe de tipul impuls-reacție duce în filogeneză și ontogeneză la constituirea programelor comportamentale de tip instinctual automat, fără luarea în considerare a variațiilor intervenite în situația obiectivă externă. La om asemenea comportamente se pot observa doar în stările de afect (explozie emoțională), de somnambulism și de ebrietate, unde controlul rațiunii, al conștiinței este puternic diminuat sau complet suspendat.*

*În comportamentul cotidian normal, elementele inconștientului, în cea mai mare parte de ordin energetic, sunt încorporate în patternurile elaborate și controlate la nivel conștient. Astfel, inconștientul influențează și modulează dinamica structurilor conștiinței, iar conștiința își exercită influența sa reglatoare prin analiza și evaluarea critică a conținuturilor inconștientului emițând mesaje de moderare, refulare, amânare, transformare, ierarhizare etc.*

*Unitatea sistemului psihic uman nu este plată și inertă. Datorită heterogenității structurale și funcționale a componentelor, pe lângă raporturile de consonan-*

ță se pot manifesta și contradicții, divergențe, disonanțe asociate cu un grad mai mare sau mic de tensiune trăită în plan subiectiv sub diferite forme: neliniște, disconfort, proastă dispoziție, iritare, nehotărâre, obsesie, bulversare afectivă, conflict motivațional etc. Toate acestea conferă comportamentului și condiției existențiale a omului o notă de dramatism mai mult sau mai puțin accentuat.

Intensitatea tensiunilor și disonanțelor intrapsihice depinde nu numai de influențele mediului extern, ci și de particularitățile organizării psihofizilogice a individului. În general, tensiunea și frustrația acționează ca factori de progres și de evoluție a sistemului personalității, determinând componente specifice de explorare-investigare, de învățare, de elaborare a unor procedee și modalități noi de înfruntare și de acțiune asupra situațiilor externe.

Atunci când intensitatea și durata acestor stări depășesc însă anumite limite valorice, din factori optimizatori ele se transformă în agenți perturbatori, generatori de oscilații cu caracter patologic. Prin efectele lor perturbatoare disfuncțiile la nivelul sistemului psihic se răsfrâng negativ asupra stării creierului (modificări de circulație, de metabolism, de excitabilitate) și prin intermediul creierului se răsfrâng negativ asupra stării biologice/fiziologice a organismului în ansamblu. Se închide astfel circuitul somatopsihosomatic, care dă în fapt unitatea sistemului personalității.

În lucrarea de față, am urmărit să realizăm o sinteză relevantă, prin prisma criteriilor și principiilor metodologice de mai sus, a studiului și problematicei actuale a psihoneurologiei sub dublul său aspect teroretic și aplicativ.

Conținutul lucrării și modul de tratare a diverselor probleme legate de raportul psihic creier vor reține, sperăm, atenția unor categorii diverse de specialiști, de la neurologi și psihologi până la filosofi, și va surecita interesul oricărui cititor dornic de cunoaștere, în general, de cunoaștere de sine, în special.

Autorii.



# Capitolul I

## **RAPORTUL PSIHIC-CREIER**

Indiferent dacă definirea neuropsihologiei are un caracter mai restrâns sau mai extins, domeniul ei specific de studiu rămâne tot raportul psihic-creier. Principala sa finalitate epistemologică rezidă tocmai în elucidarea, pe baze experimentale și clinice, a naturii și esenței acestui raport în jurul căruia, în istoria gândirii filosofice și științifice, au existat aprinse dispute și controverse. Trebuie subliniat că dacă problema originii și naturii psihicului s-a conștientizat și a devenit obiect de preocupare intelectuală din cele mai vechi timpuri, de când omul a dobândit conștiință de sine, studiul organizării structural-funcționale a creierului a intrat mult mai târziu în circuitul epistemologic. Evidențierea și afirmarea legăturii celor două entități - psihicul și creierul - se realizează abia în antichitatea târzie, doar cu câteva secole înaintea erei noastre. Până atunci, cea mai înrădăcinată era convingerea că sufletul este un atribut al întregului corp, mecanismul „dinamizării” și „primeririi” lui fiind considerat actul respirației sau circulația sângelui. Chiar în secolul V a.e.n., Hippocrate și Kroton implicau creierul numai în realizarea gândirii, a rațiunii, procesele și stările afective fiind puse pe seama aparatului cardiovascular.

De-abia în secolul II a.e.n., Galen a făcut un pas mai serios înainte, afirmând într-o formă mai explicită și mai completă existența unei legături permanente între viața psihică internă și creier. El formulează pentru prima dată ipoteza localizării directe a funcțiilor și proceselor psihice în structurile cerebrale.

Astfel, considerând că impresiile din lumea externă pătrund în forma fluidelor, prin ochi, în ventriculii cerebrali, acest gânditor conchidea că talamusul optic reprezintă acel mecanism în care fluidele respective se asociază cu fluidele vitale sosite din ficat, transformându-se, la nivelul sistemului vascular, în fluide psihice (pneuma psihikon sau pneuma loghistikon).

Pe cât de naivă și puerilă ne pare astăzi această explicație, pe atât de avansată și revoluționară a fost ea pentru timpul acela. De altfel, ideea că ventriculii cerebrali (mai exact, lichidul care-i irigă) constituie substratul material nemijlocit al psihicului s-a perpetuat mai bine de un mileniu și jumătate.

Modul de abordare și soluționare ulterioară a problemei raportului dintre psihic și creier a fost condiționat atât de evoluția reprezentărilor și testărilor psihologice, cât și de perfecționarea metodelor și tehnicilor de investigare și descriere anatomofiziologică a sistemului nervos. În general, reprezentările și

teoriile psihologice, evoluând în cadrul diferitelor sisteme filosofice, s-au detașat tot mai mult de suportul lor intuitiv-concret inițial, dobândind un caracter speculativ abstract. Chiar în aceste condiții, viața psihică a omului nu va mai fi însă abordată global, ca ceva amorf, ci va fi supusă operației de analiză și clasificare, care va duce la desprinderea și descrierea unor funcții precise și capacități particulare distincte.

Cât privește cunoașterea sistemului nervos, ea va continua încă multă vreme să se mențină la un nivel vag, ipotetic, lipsită de un material factual dobândit prin metode științifice riguroase. Aceasta a făcut ca raportarea psihicului la substratul neuronal să fie concepută tot într-o manieră globală, fenomenologică.

Iată, de pildă, chiar în secolul al XVII-lea, Descartes (1686) considera posibil ca întregul psihic să fie localizat într-un singur „organ” - glanda epifiză - situată central la baza hemisferelor cerebrale, poziție care-i conferă, în opinia lui, rolul de dispecer al spiritelor animale, purtătoarele nemijlocite ale psihicului; la rândul său, Willis (1664) susținea că „organul” vieții psihice este reprezentat de corpii striati; Lancisi (1739) lega procesele psihice de corpul calos.

Primul care abordează relația psihic-creier într-o manieră diferențiată, formulând ideea unei localizări distincte a proceselor psihice particulare, a fost anatomistul german Meyer (1779).

Tendința de a localiza fiecare funcție psihică, oricât de complexă, într-o zonă precis delimitată a creierului atinge punctul ei culminant la anatomistul austriac Fr. Gall (1822). Acest autor considera că scoarța cerebrală este un conglomerat de centri integratori, fiecare din ei îndeplinind o anumită funcție psihică.

Trebuie menționat că, în pofida caracterului ei exagerat și esențialmente naiv, concepția lui Gall prezintă din perspectiva actuală o dublă impotnță metodologică:

a) atrage pentru prima dată atenția asupra caracterului diferențiat al scoarței cerebrale, într-o vreme când aceasta continua să fie considerată ca o masă amorfă.

b) ideile despre „centrii corticali” înalt specializați în plan funcțional au avut o influență deosebită asupra constituirii modului îngust localizaționist de mai târziu.

Reținem ca semnificativ faptul că prima modalitate de a rezolva problema raportului psihic-creier s-a concretizat în tendința de a localiza funcțiile și procesele psihice particulare în structuri și formațiuni cerebrale cât mai exact delimitate anatomiceste. Această tendință va fi amplificată și consolidată de cercetările anatomo-patologice realizate de Broca și Wernicke. Primul a pus în evidență într-o manieră concludentă, factuală, legătura diferențiat-selectivă între un focar patologic organic al creierului și tulburarea unei anumite funcții psihice. Astfel, analizând postmortem creierele a doi foști pacienți ai săi, care prezentaseră grave tulburări ale vorbirii (afazie motorie), Broca (1861, 1865) a descoperit existența unei leziuni a porțiunii posterioare (piciorului) a circumvoluțiunii frontale inferioare din emisfera stângă.



Pe această bază, el a formulat concluzia potrivit căreia, vorbirea are o localizare precisă, zona descrisă de el putând fi denumită „centrul imaginilor motorii ale cuvintelor „. În finalul raportului său prezentat în cadrul Societății de antropologie din Paris, Broca își exprima **patetic speranța** că, în viitor, vor fi descoperiți centrul și ai altor funcții psihice superioare, ideea localizaționismului îngust dobândind astfel o confirmare deplină. Fapt este că descoperirile lui Broca au dat un puternic impuls investigațiilor clinice asupra tulburărilor de focar, care vor avea un rol esențial în constituirea și dezvoltarea neuropsihologiei moderne.

La un interval de zece ani de la comunicarea lui Broca, un alt mare cercetător Wernicke (1871) a descris un caz în care lezarea treimii posterioare a circumvoluțiunii temporale superioare din emisfera stângă a provocat tulburarea capacității de înțelegere a limbajului oral adresat. S-a conchis că zona respectivă reprezintă „centrul imaginilor senzoriale (auditive) ale cuvintelor“, concluzie însoțită și menținută până astăzi drept o achiziție importantă a neuropsihologiei.

La rândul lor, Fritsch și Hitzig (1870), excitând cu curent electric anumite zone ale scoarței lobului frontal la câine au putut constata producerea unor răspunsuri motorii diferențiate. Acest fapt a fost confirmat și în experiențele efectuate pe maimuțe iar apoi și pe om. Aproape concomitent, în 1874, Betz a descoperit în circumvoluțiunea centrală anterioară celule piramidale gigantice, pe care el le-a asociat cu funcția motorie. O influență puternică au exercitat-o și experimentele lui Munk (1881). Extirpând la câine anumite zone din lobi occipitali, acest cercetător a pus în evidență faptul că animalul continua să vadă, dar își pierduse capacitatea de recunoaștere vizuală a obiectelor.

La rândul lor, Hitzig (1874), Ferrier (1874, 1876) și Bianchi (1895) au constatat și descris grave tulburări ale „atenției“ și „intellectului“ animalelor, în urma extirpării segmentelor anterioare ale creierului.

Concepția localizaționistă s-a impus cu autoritate în deceniile trei-patru ale secolului XX, mai ales grație lucrărilor lui Kleist (1934), finalizate cu alcătuirea unei detaliate hărți a localizărilor (Fig. 1) și a celor ale lui Vogt (1951), care susține un model topic al organizării funcționale a creierului.

Analizând un vast material factual obținut prin examinarea răniților din cel de-al doilea război mondial cu leziuni ale creierului, Luria (1947) confirmă ideea de principiu că orice funcție psihică se leagă de anumite structuri și formațiuni cerebrale, dar respinge absolutizarea localizărilor punctiforme și invariante, formulând pentru prima dată ipoteza localizării dinamice.

Reluând rezultatele cercetărilor lui Wernicke, Geschwind (1966-1968) vine să consacre pe plan metodologic general curentul neuroanatomic. Esența acestui curent rezidă în afirmarea unei corespondențe strânse între localizarea unei leziuni și manifestarea neuropsihopatologică (M. Botez, 1996).

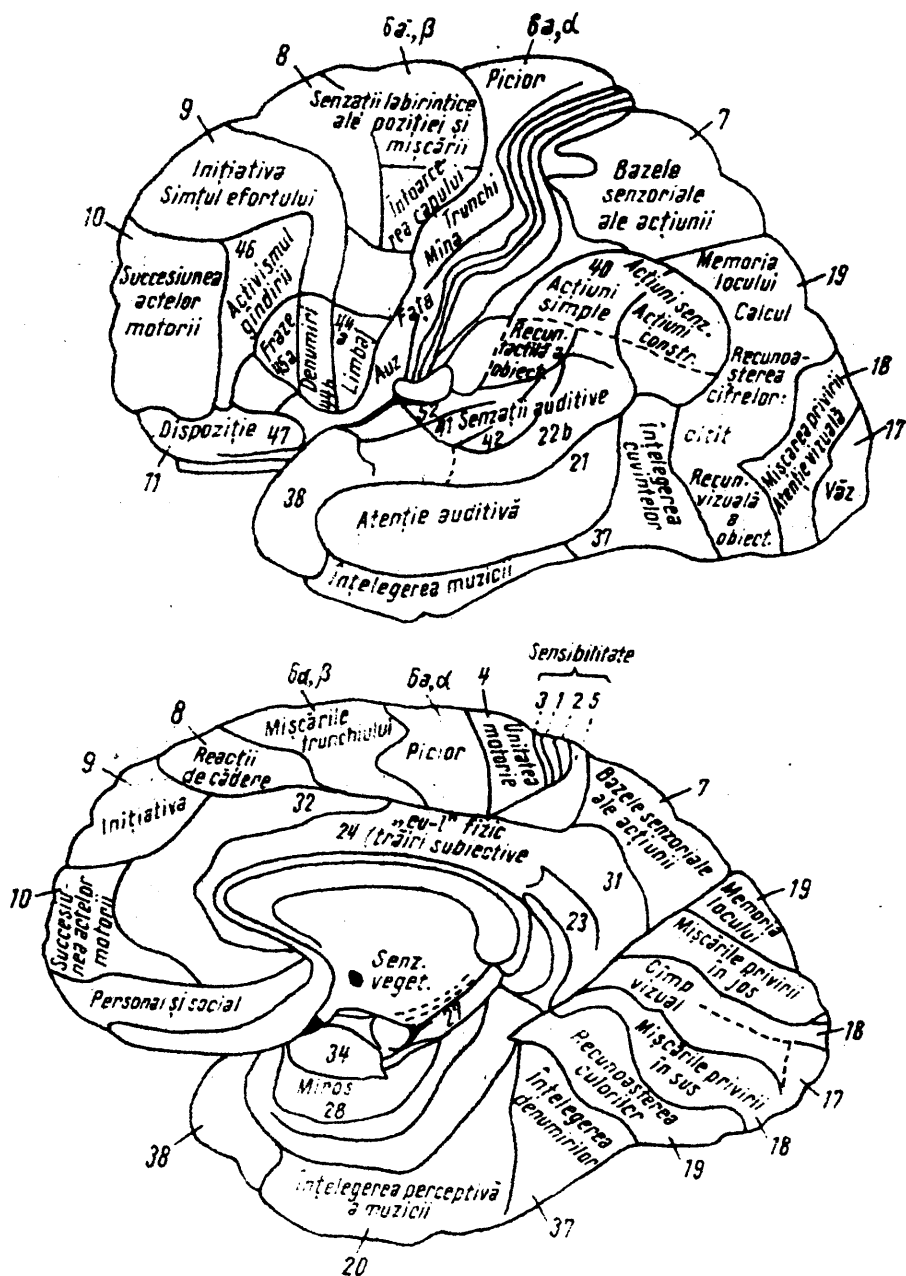


Fig. 1. Harta localizărilor cerebrale imaginată de Kleist (simplificată)



Procedându-se apoi la o analiză în sens invers, se conchide că sediul de care se leagă o tulburare psihocomportamentală reprezintă și centrul funcției în stare normală.

După Geschwind, o funcție psihică precum „recunoașterea” nu are un caracter unitar și omogen. Termenul s-ar aplica totalității asociațiilor posibile produse de un obiect. În „recunoaștere” avem de-a face cu un proces multiplu, paralel, orientat spre obținerea unui răspuns adecvat naturii și semnificației stimulului. Faptul că un agnozic prezintă dificultăți în a recunoaște, de pildă, un pahar în cursul examinării clinicopsihologice, dar este capabil să-l aleagă spontan atunci când îi este sete, implică pentru Geschwind două mecanisme independente ale procesului de „recunoaștere”, cu două căi anatomice distincte.

Modelul neuroanatomic caută principala confirmare faptică în disociațiile neuropsihologice. Apariția acestora în cazuistica clinică ar demonstra dependența funcțiilor psihice de o condiție anatomică particulară. În aceasta se includ nu numai structurile cerebrale în sine, ci și conexiunile dintre ele, a căror întrerupere determină tulburări psihocomportamentale analoge celor provocate de leziunile structurilor neuronale.

Date semnificative în afirmarea localizaționalismului au fost furnizate și după 1960 de faimoasele cercetări coordonate de Penfield, Gazzaniga, Sperry și Delgado. Astfel, Penfield (1967-1974) folosind metoda stimulărilor directe a unor zone corticale la pacienții supuși unor intervenții chirurgicale, a reușit să provoace „răspunsuri psihice” de mare complexitate- vocalizări, imagini vizuale, stări emoționale.

La rândul lor, Gazzaniga și Sperry (1967, 1970) autorii modelului „split-brain”-ului, au demonstrat experimental, pentru prima dată, (prin secționarea corpului calos) specializarea funcțională diferită a celor două emisfere cerebrale, accentuând caracterul segmentar al activității creierului. Delgado (1971) a mers și mai departe în afirmarea ideii înaltei diferențieri funcționale în interiorul creierului, elaborând un amplu model metodologic de realizare a așa-numitului control fizic de la distanță (folosind stimularea cu unde radio) al întregului comportament, dar mai ales a componentei dinamico-energetice a acestuia.

Rezumând, putem spune că orientarea neuroanatomică (localizaționistă) susține următoarele teze principale: funcțiile psihice au fiecare o reprezentare cerebrală separată; centrele corticale se leagă între ele prin fascicule de substanță albă; acestea, la rândul lor, pot fi constituite din subfascicule care fac posibil transferul unui anumit tip de informație în diferite „puncte” ale creierului; efectele neuropsihopatologice variază, după cum leziunea atinge „centrele”, substanța albă subiacentă sau pe ambele ( Botez, 1996).

În pofida aparentei sale solidități faptico-experimentale, modelul îngust-localizaționist nu a putut dobândi o recunoaștere unanimă. Dacă datele și argumentele sale referitoare la localizarea funcțiilor psihice simple (senzoriale și motorii) erau suficient de convingătoare, cele referitoare la localizarea funcțiilor

psihice superioare (memorie, imaginație, gândire, motivație, voință) stârneau nedumerire și îndoială.

Astfel, au început să fie considerate exagerate și simpliste încercările reprezentanților acestui curent de a circumscrie în zone punctiforme, singulare ale creierului mecanismele unor funcții care, în mod evident aveau o alcătuire complexă, multisevențială.

În aceeași perioadă în care se acumulează argumentele faptico-experimentale cele mai puternice ale localizaționismului, încep a se înregistra date care veneau în sprijinul ideii antilocalizaționiste sau echipotențialiste. Începe polemica dintre Gall, reprezentantul orintării îngust localizaționiste, și Flourens, creatorul modelului echipotențialist.

Acesta din urmă, prin cercetările sale, impune în circuitul științific principiul echipotențialismului. Extirpând diferite porțiuni din emisferile cerebrale la păsări (porumbei), Flourens (1824, 1842) a constatat că după trecerea unui anumit interval de timp tulburările apărute inițial diminuau, iar unele chiar se remiteau complet. Fenomenul compensării se desfășura la fel, indiferent care porțiune a creierului era extirpată. Neluând în seamă faptul că la păsări scoarța cerebrală este slab dezvoltată și puțin diferințiată și că funcțiile psihice sunt insuficient corticalizate la acest nivel, Flourens s-a hazardat să afirme că chiar dacă creierul este complex, scoarța cerebrală funcționează ca un tot amorf. De aceea lezarea diferitelor porțiuni ale ei provoacă tulburări echivalente în sfera senzorială și a intelectului.

Spre deosebire de Gall, ale cărui argumente erau de ordin pur speculativ, teoretic, Flourens își întemeiază punctul de vedere pe date experimentale concrete. De altfel, meritul istoric al său constă tocmai în plasarea problemei raportului psihic-creier din planul speculațiilor sterile în cel al cercetărilor experimentale obiective.

Ideea echipotențialismului formulată de Flourens va fi reluată și dezvoltată în deceniile următoare.

Între 1876-1881, cunoscutul neurofiziolog german Goltz efectuează o serie de experimente constând în extirparea unor porțiuni ale scoarței cerebrale la câine.

Înregistrând și analizând consecințele acestor leziuni în sfera vieții psihice și comportamentului, Goltz ajunge la concluzii asemănătoare celor ale lui Flourens.

Astfel, în faza postoperatorie imediată au fost constatate tulburări cu caracter global, generalizat în comportamentul animalului, pe care Goltz le-a interpretat ca un răspuns al creierului ca tot (reacție globală la vătămare). Ulterior, însă, treptat, tabloul comportamental începea să revină la normal. Ceea ce a rămas ca efect rezidual (o oarecare discoordonare a mișcărilor și o reducere a „perspicacității” în situații problematice noi) era interpretat tot ca un fenomen global- scăderea nivelului intelectului. Goltz afirma că oricare structură (zonă) cerebrală (corticală) poate fi implicată în realizarea oricărei funcții psihice, iar gradul deficitului provocat este proporțional doar cu întinderea (suprafața) porțiunii lezate (extirpate).



Cu aproape cinci decenii mai târziu, (1929), neurofiziologul american Lashley aduce date noi în susținerea concluziilor formulate de Goltz. Extirpând la cobai porțiuni de diferite întinderi din scoarța cerebrală, Lashley a urmărit apoi evoluția în timp a tabloului comportamental al animalelor de experiență introducându-le în situații problematice noi - traversarea și ieșirea dintr-un labirint. În primele zile după operație, animalele evidențiau tulburări semnificative ale funcțiilor de discriminare și orientare spațială, de coordonare senzorio-motorie. Treptat însă, aceste tulburări diminuau în intensitate, în final comportamentul revenind la un nivel de eficiență satisfăcător. S-a constatat, de asemenea, că gradul și durata de realizare a compensării depindeau de mărimea suprafeței extirpate.

Pe baza acestor date, Lashley realizează forma completă a modelului echipotențialist clasic:

a) nu există o legătură directă și stabilă (predeterminată) între natura tulburării funcționale și locul leziunii (focarului) cerebrale; b) esențială în producerea unor tulburări funcționale de un anumit fel nu este individualitatea structurală a zonei lezate, ci întinderea ei; c) din punct de vedere funcțional, toate zonele creierului sunt echivalente, fiecare din ele putând participa la realizarea oricărei funcții; d) tulburările funcționale provocate de leziuni sau focare limitate ale creierului au caracter tranzitoriu, ele fiind compensate prin preluarea funcției de către alte zone, rămase integre.

În plan psihologic, modelul îngust localizaționist ia ca suport teoria asociaționistă, iar cel echipotențialist-teoria gestaltă.

Potrivit concepției asociaționiste, dacă viața psihică se alcătuiește treptat din elemente în sine independente grație acțiunii legilor asociației, nici o activitate a creierului nu poate fi altceva decât un sumum al activității unor elemente neuroanatomice distincte (centre de imagini). Cum asociaționismul acordă o importanță deosebită procesului evoluției filo și ontogenetice, în trecerea de la simplu la complex, de la inferior la superior, în explicarea funcționării creierului se introduce principiul multinivelarității. Astfel, marele neurolog englez Jackson afirmă că întrucât ontogeneza reflectă filogeneza, organizarea cerebrală va urma o schemă verticală complexă: o aceeași funcție va fi reprezentată repetitiv în cadrul sistemului nervos: mai întâi la un nivel „inferior” (măduva spinării și trunchiul cerebral), apoi la un nivel „mediu” (centrii senzoriali și motori), și, în sfârșit, la un nivel „superior” (lobii frontali).

Prin analogie se conchidea că aceeași schemă de organizare se poate regăsi și în interiorul cortexului cerebral, acompaniind dezvoltarea psihocomportamentală a individului în procesul învățării.

Expresia asociaționistă a organizării cerebrale a devenit mai subtilă la Hebb, care introduce noțiunea de ansamblu celular. În lumina teoriei „ansamblurilor celulare”, organizarea structural-funcțională a creierului se realizează treptat în ontogeneză. În primele faze ale dezvoltării copilului, în fiecare lob cerebral se

formează „ansambluri celulare“. De exemplu, pentru perceperea unui triunghi se constituie trei asemenea ansambluri de ordinul I, corespunzător celor trei laturi. Excitarea simultană a acestor trei ansambluri celulare va favoriza formarea unui ansamblu supraordonat, de ordinul II, corespunzător imaginii triunghiului ca tot unitar și cu o singură orientare. Perceperea unui triunghi în poziții diferite presupune construirea atâtor ansambluri celulare de ordinul II câte poziții diferite pot exista. Când ansamblurile celulare de ordinul II vor fi activate în același timp, devine posibilă percepția unui obiect în toate pozițiile, ceea ce duce la constituirea unor ansambluri celulare de ordinul III. Finalmente, ansamblurile celulare de ordinul III sunt cele care asigură constanța perceptivă și activitatea conceptuală corespunzătoare obiectului dat.

Mai departe, se formează ansambluri celulare de ordine și mai înalte, care asigură legătura ansamblurilor „locale“ din cadrul diferiților lobi. Activările reciproce între aceste ansambluri se vor realiza în forma a ceea ce Hebb numește „cicluri de fază„. Astfel, așa numita melodie cinetică ce caracterizează actul scrisului are ca substrat neurofiziologic succesiunea excitațiilor, din ce în ce mai integrate în timp, dintre ansamblurile celulare.

Pentru a reflecta mai fidel spiritul asociaționismului, Monakow și Mourgue (1928) au introdus noțiunea de „localizare cronogenă„. După cei doi cercetători, trebuie delimitate două tipuri de localizare : sincronă și cronogenă.

Localizarea sincronă reflectă o proprietate mai mult mecanică a țesutului nervos, prezentă mai ales în fazele inițiale ale dezvoltării, la vârsta adultă ea putând fi evidențiată doar în anumite situații de laborator. De exemplu, stimularea electrică a circumvoluțiunii centrale ascendente produce întotdeauna mișcări, fie de flexie, fie de extensie; dar aceste mișcări nu sunt decât elemente constitutive ale unei organizări motorii mai generale care posedă o localizare cronogenă. În mod similar, mișcărilor necoordonate și dispartate ale copilului la naștere au și ele o localizare sincronă, dar nu sunt decât etape în formarea mișcărilor mai complexe de mai târziu, care vor căpăta o localizare cronogenă.

Pentru ca „melodia cinetică„, să se poată desfășura normal, este necesar ca fiecare proces elementar să fie activat la momentul potrivit și apoi să înceteze, pentru a permite activarea secvențelor următoare. O întârziere, o anticipare sau o perseverare în declanșarea unei secvențe individuale va deregla serios ansamblul așiniunii sau al funcției psihice corespunzătoare. Acest lucru se poate întâmpla în cazul unei leziuni cerebrale.

După cum se știe, toate funcțiile psihice se organizează serial și se desfășoară în timp. Ca urmare, leziunea cerebrală va determina o perturbare în succesiunea verigilor care le alcătuiesc.

Avansarea diaschizis-ului, prin modificarea organizării sinaptice, ar putea provoca o creștere a pragului de excitabilitate neuronală, a întârzierii sau devansării impulsurilor nervoase. Asemenea modificări pot sta la baza dezintegrării unui proces psihic global, dând naștere la tulburări de genul apraxiei, afaziei sau



agnoziei. În cazul apraxiei, de pildă, mișcările elementare care au făcut parte dintr-o anumită melodie cINETICĂ ies de sub controlul cortical și se manifestă anarhic, în funcție de ponderea experienței trecute (Botez, 1996).

Așadar, în viziunea lui Monakow și Mourgue, leziunea cerebrală nu distruge imaginile înmagazinate în creier, ci fragmentează desfășurarea unui proces psihic global. Admițând localizarea cronogenă, acești autori neagă existența autonomă a reprezentărilor vizuale. Imaginea unui obiect sau unei persoane este mai mult decât reprezentarea lor vizuală; respectiv, ea este și o „melodie cINETICĂ”, ce rezultă din influențe reciproce, dezvoltate în timp, între elemente de origine cognitivă, vizuală, auditivă, olfactivă, tactilă și kinestezică.

Ipoteza localizării cronogene își găsește un sprijin important în teoria ansamblurilor celulare a lui Hebb. În fapt, noțiunile de ansambluri celulare, de secvențe de fază și de cicluri de fază ale acestui autor exprimă într-o altă formă succesiunea temporală a unor evenimente psihofiziologice numite cronogene.

Tratarea relației psihic-creier și a problemei localizărilor cerebrale în spiritul modelului gestaltist își află originea în ipoteza echipotențialistă formulată explicit de Lashley. În mod direct însă, această abordare se leagă de numele lui Goldstein (1948, 1951). Acesta introduce o dihotomie a gândirii normale, delimitând gândirea abstractă și gândirea concretă. În cazul unor lezini cerebrale, nu este afectată decât gândirea abstractă, aceasta fie atenuându-se, fie dispărând cu totul. Prin ce se diferențiază cele două forme de gândire? În gândirea concretă o acțiune este determinată direct, fără a fi mediată de analiza prealabilă a situației. În gândirea abstractă acțiunea apare ca rezultat al unei evaluări prealabile făcută de subiect. Aceasta consideră situația în mod global, extrăgând aspectele esențiale și alegând varianta de răspuns cea mai adecvată. Creierul funcționează nu secvențial, ci configurațional, nu prin adițiune succesivă de elemente sau verigi, ci prin integrări emergente, concretizate în acte și procese globale unitare.

Conceptul de patern, în care se accentuează asupra conexiunilor integrative în cadrul unei activități sau proces psihic reflectă poate cel mai fidel aplicarea principiilor gestaltului la funcționarea creierului.

Evoluția ulterioară a neuropsihologiei a demonstrat că atât localizaționismul îngust, cât și echipotențialismul absolutizant nu oferă răspunsuri corecte și exhaustive la toate întrebările pe care le ridică în mod concret raportul psihic-creier. Astfel, depășirea limitelor lor se realizează în cadrul unui model nou, supraordonat, denumit modelul localizărilor dinamice. În elaborarea acestui model un rol important l-au jucat ideile lui Jackson (1876, 1884) despre caracterul multinivelar și multiintegrat al funcțiilor psihice și despre nonidentitatea mecanismelor unei funcții normale și ale tulburării patologice ale acelei funcții, și cercetările lui Pavlov asupra reflexelor condiționate (1920, 1930). Acești doi savanți au impus atenției generale perspectiva genetic-evoluționistă în înțelegerea relației dintre structură și funcție. Perspectiva genetică arată că mecanismul neuronal al unei funcții psihice sau alteia nu este înăscut, predeterminat, ci se constituie în cursul

evoluei filo- și ontogenetice, o dată și pe măsura apariției și dezvoltării funcției însăși. De aceea, nici funcția nu trebuie privită ca un dat și raportată din afară la o anumită structură, în sine inertă. Ea se integrează intim în structură, ambele formând o unitate dinamică evolutivă. În același timp, funcțiile psihice nu pot fi suprapuse nemijlocit peste structura anatomică a creierului. Această legătură este mediată de ansamblul transformărilor și proceselor fiziologice. Așa cum a demonstrat Pavlov, rolul principal revine aici proceselor nervoase fundamentale - excitația și inhibiția- și dinamicii lor. Aceasta înseamnă că funcțiile psihice apar și se manifestă ca rezultat al interacțiunii dintre excitație și inhibiție, interacțiune care se desfășoară pe un spațiu întins, cuprinzând după legea succesiunii sau simultaneității, un număr mare de puncte și zone neuronale de pe întreaga suprafață a emisferelor cerebrale. Tehnicile actuale de vizualizare și înregistrare au confirmat noțiunea de mozaic, introdusă de Pavlov pentru ilustrarea neurodinamicii corticale. S-a demonstrat astfel că desfășurarea unui anumit proces psihic este acompaniată de o continuă modificare a tabloului activismului bioelectric și biochimic al creierului.

Anohin (1935, 1940), apreciind ideile lui Jackson, a elaborat conceptul de „sistem funcțional“, care permite o mai bună înțelegere a complexității integrării psihoneuronale. În lumina acestui concept, funcția psihică se constituie ca modalitate instrumentală de dobândire a unor efecte adaptative specifice în contextul raportului individului cu mediul ambiant. Ca atare, ea trebuie considerată ca un ansamblu de operații și verigi, legate între ele pe baza efectului adaptativ final. Bernstein (1947) a demonstrat pe larg caracterul sistemic-ierarhizat al actelor motorii. În primul rând, un act motor se constituie în raport cu anumite sarcini și solicitări. Destinația lui este eminent instrumentală, constând în performarea unei acțiuni pentru satisfacerea unei stări de motivație sau pentru anticiparea unui scop. Cum rezolvarea sarcinii are un caracter fazic, programul executiv-motor corespunzător se elaborează prin articularea mai multor mișcări simple, diferite după formă, amplitudine, traiectorie, etc. Fiecare din aceste componente este realizată de către un grup diferit de mușchi și comandată de către un alt grup de neuroni.

Descoperirile lui Moruzzi și Magoun (1949), ale lui Moruzzi (1958) și ale lui Jaspers (1951, 1957) asupra formațiunii reticulate au dovedit nu numai că mecanismul unei funcții psihice nu poate avea caracter punctiform, îngust delimitat, dar că, pe lângă structuri neuronale specifice, el include și structuri nespecifice, dispuse la diferite rânduri, pe verticală, ale SNC.

Astfel, neuropsihologia contemporană concepe realizarea oricărei funcții psihice ca interacțiune bilaterală între structurile neuronale specifice, care realizează prelucrarea și integrarea informațiilor modale (vizuale, auditive, tactile, olfactive etc.) și cele nespecifice, care îndeplinesc rolul de activare-facilitare, filtrare-selecție (cele de la nivel subcortical) și asociere-sistematizare-integrare plurimodală supraordonată (cele de la nivel cortical).



În lucrările sale, devenite momente de reflecție în neuropsihologia contemporană, Luria (1962,1974) a dezvoltat și argumentat în mod sistematic schema logico-operatională a modelului localizărilor dinamice. El a arătat că în problema raportului psihic-creier trebuie să distingem un aspect fundamental, cu semnificație metodologică majoră, și unul secundar, subordonat. Primul constă în a impune în conștiința generală faptul că nici un proces psihic, oricât ar fi de simplu sau de complex, nu se poate realiza în afara creierului, a funcționării lui sub acțiunea unor surse de informație din afara sa. Prin urmare, organizarea psihică în ansamblu trebuie interpretată ca expresie și rezultat al activității reflexe a creierului ca sistem, aceasta presupunând admiterea legăturilor și interacțiunilor atât pe verticală, cât și pe orizontală, între zonele și formațiunile neuronale.

Cel de-al doilea aspect se referă la găsirea răspunsului adecvat la întrebări de genul: 1) care este mecanismul prin care se realizează un proces psihic sau altul?; 2) la nivelul căror structuri se integrează o funcție psihică sau alta? În formularea răspunsului la asemenea întrebări, pe lângă stadiul actual al cercetărilor neurofiziologice și neuropsihologice trebuie să mai ținem seamă de următoarele elemente: a) succesiunea formării funcțiilor psihice și a structurilor neuronale în filo- și ontogeneză; b) gradul de complexitate al funcțiilor psihice ; c) plasticitatea funcțională a structurilor cerebrale; d) gradele de libertate combinatorică proprii neuronilor ce alcătuiesc diferitele structuri și zone ale creierului. Corelând toate aceste elemente, ajungem să delimităm în interiorul sistemului nervos central două tipuri de structuri: specializate sau închise, care filogenetic s-au constituit și s-au legat de îndeplinirea doar a unui anumit tip de transformări și integrări funcționale, și nespecializate sau deschise, care, ca atare, nu se leagă de la naștere de o anumită funcție modală, ci realizează comunicarea, comutarea și transferul între zonele specializate. Corespunzător, și funcțiile psihice pot fi împărțite în două grupe: a) funcții cu localizare precisă și invariantă; b) funcții cu localizare relativă sau dobândită. La om, categoria celor dintâi se reduce doar la procesele senzoriale și actele motorii.

De pildă, știm astăzi cu destulă certitudine că recepția vizuală se realizează ca funcție a unui anumit grup de structuri-receptori și neuronii de la nivelul retinei, nervii optici, corpii geniculați externi ai talamusului, ariile corticale 17,18 și 19 din lobii occipitali. Luată în ansamblu, percepția vizuală nu poate fi transferată nici unei alte structuri cerebrale, ea fiind deci genetic legată doar de analizatorul specific (vizual). Ca atare, lezarea oricăreia din cele trei verigi constitutive ale acestui analizator - periferică (receptorul), intermediară (centrii și căile optice subcorticale) și centrală (ariile menționate de lobii occipitali) duce invariabil la tulburarea funcției vizuale în ansamblu, putându-se ajunge la pierderea ei completă. Același lucru este valabil și pentru celelalte modalități senzoriale, analizatorii fiind structuri specializate închise, nesubstituibili funcțional unul celuilalt.

Trebuie însă să observăm că chiar dacă structurile care stau la baza unei funcții senzoriale specifice sunt pregnant delimitate și individualizate, localizarea

funcțiilor respective nu are un caracter punctiform, circumscrisă unui singur centru, ci este distribuită, multinivelară, deci este dinamică. Senzația sau percepția în formă lor psihică finală nu sunt emanația unei singure zone sau unui singur grup omogen de neuroni. Ele se produc ca rezultat al unei integrări succesive, dinamice, care începe la nivelul câmpului receptor periferic și se finalizează la nivelul zonelor de proiecție topică și de asociație ale scoarței cerebrale.

Funcțiile cu localizare relativă, dobândită se caracterizează printr-un grad înalt de complexitate și printr-o geneză îndelungată, multistadială. Să luăm de pildă gândirea. Structural ea dezvăluie un număr imens de componente informaționale (noțiuni, judecăți) și instrumentale (operatori, transformări, integrări); genetic ea se elaborează treptat, parcurgând o serie de stadii - senzori-motor, preoperator concret, operator formal - și rămâne permanent deschisă optimizării și restructurării (flexibilitatea structurilor intelectuale).

Aceste caracteristici luate împreună fac imposibilă fixarea întregii organizări latente și fazice (în desfășurare) a gândirii într-o zonă singulară a creierului și chiar într-o configurație riguros delimitată și individualizată de arii corticale. Legătura dintre gândire și structurile cerebrale particulare nu este rigid programată în cadrul genetic; ea are un caracter labil și relativ aleator, elaborându-se esențialmente în cursul evoluției ontogenetice, iar pe măsură ce schemele operaționale de procesare a informației se diversifică și se perfecționează se extinde și baza ei neurofiziologică de integrare. Ca urmare, configurația reală a mecanismelor gândirii va pune în evidență deosebiri individuale semnificative, în funcție de vârstă, gradul de instruire, specificul profesiei etc. În ultimă instanță, putem presupune că, potențial, realizarea gândirii reclamă un anumit mod de organizare a activității integrative a întregului creier. Anume la acest nivel, se pune pregnant în evidență caracterul de sistem integrator al creierului. Cu cât sistemicitatea în funcționarea creierului se realizează la cote valorice mai înalte, cu atât gândirea va atinge un nivel mai ridicat de dezvoltare.

Cercetările întreprinse după anii '60 (Colonnier și Rossignal, 1969, Szentagothay 1969, 1972, 1975), Eccles (1977), Borgen (1986), Pribram (1986), Botez (1996) au demonstrat caracterul modular al organizării structural-funcționale a scoarței cerebrale, întărind și mai mult plauzibilitatea modelului localizărilor dinamice.

Din punct de vedere anatomic, modulul este un subansamblu alcătuit din aproximativ 10.000 de neuroni dispuși în coloane. În interiorul lui se stabilesc complexe raporturi funcționale între inputurile excitatorii și cele inhibitorii. Integrarea funcțiilor psihice se face secvențial, în cascadă, de la ariile primare de proiecție topică, prin fibrele de asociație pe care le emit coloanele modulare, la zonele secundare, iar de la acestea la cele terțiare și quaternare (supraordonate). Fiecare coloană care intră în alcătuirea modulului realizează un anumit tip de operații în cadrul procesului general de prelucrarea și integrare a informației. Modulul în întregul său realizează o anumită verigă sau componentă a unei



funcții psihice mai complexe. De exemplu, în cazul percepției vizuale a formei obiectelor, există moduli distincți pentru integrarea informației despre orizontalitate, verticalitate, oblicitate, unghiularitate, rectiliniaritate, curbiliniaritate, etc.

Modulii se află într-o strânsă interacțiune, după principiile coordonării și subordonării, serialității (succesiunii temporale), inducției reciproce (spațiale). Activitatea modului este reprezentată ca sumare în paralel a sute sau mii de trasee convergente pe neuronii lor constituenți și de trasee excitatorii și inhibitorii directe și inverse. Modulii se leagă între ei prin axoni de diferite lungimi și la diferite distanțe (proiecții, asociații, comisuri)

Articulându-se după reguli logico-semantic impuse de traiectoria procesării informației ei dau naștere la blocuri și sisteme funcționale capabile să realizeze acte psihice specifice integrale și de grade diferite de complexitate.

Conchizând la acest punct, putem spune că modelul localizărilor dinamice, stimulând în continuare explorările analitice fine ale creierului în vederea descoperirii unor eventuale noi specializări, susține și legitimitatea identificării zonelor și structurilor slab specializate sau polifuncționale.

Problema raportului psihic-creier nu se reduce doar la a stabili existența unei legături între anumite funcții psihice particulare și anumite structuri sau formațiuni neuronale. Se poate spune că astăzi nimeni nu mai pune la îndoială faptul că psihicul se leagă de creier. Aspectul cel mai important și cel mai controversat se referă la natura acestei legături. Aici s-au confruntat în decursul timpului tendințele dualiste și cele monist-reducționiste. Bazele modelului dualist au fost puse încă în secolul XVII de către Descartes. Acesta scindează existența în două începuturi diametral opuse - spiritul (gândirea) și materia (substanța).

Transpusă la nivelul realității umane, această scindare ia forma relației psihofizice.

În lumina principiului dualist, psihicul și corpul sunt două începuturi distincte, de natură total diferită, care le face ireductibile unul la celălalt, trebuind astfel să le considerăm pe fiecare separat, în sine, ele coexistând aidoma a două linii paralele care nu se influențează și nu se întâlnesc niciodată. Dacă Descartes lasă chestiunea doar în plan filosofic, în sec. XIX concepția dualistă este promovată în plan științific, cu referire specială la raportul psihic-creier, de către Paulsen, Fechner, Munster.

În cazul paralelismului psihofiziologic absolut, cele două serii de evenimente psihice și neurofiziologice sunt total exterioare una celeilalte, ele neinfluențându-se și neavând nici un fel de puncte de corespondență.

În schimb, paralelismul interacționist admite posibilitatea ca în anumite momente de timp unui eveniment psihic să-i corespundă un eveniment neurofiziologic, și viceversa, fără însă ca prin aceasta să-și influențeze și să-și modifice natura lor specifică. În neuropsihologia modernă, punctul de vedere dualist a fost dezvoltat de Sherrington și Eccles. Primul scindează unitatea vieții psihice în două sfere de naturi calitativ diferite: fenomenele inferioare (instinctuale și reacțiile sensori-

motorii) care se produc ca funcție organică a creierului, fiind de esență fiziologică reflexă, și fenomenele superioare ale conștiinței, de natură spirituală pură, care doar coexistă cu procesele fiziologice de la nivelul emisferelor cerebrale, fără a fi însă produsul acestora.

Cel de-al doilea autor, Eccles, transferă problema raportului psihic-creier din plan ontologic în plan epistemologic și în acest context afirmă că, cel puțin din punct de vedere al cunoașterii, psihicul și creierul trebuie abordate separat, fiecare având proprietăți și legi diferite care nu sunt deductibile din cercetările celui alt termen. Cu alte cuvinte, cunoașterea psihicului trebuie să se desfășoare independent și separat de cunoașterea creierului și viceversa, cunoștințele dintr-un domeniu necondiționând în nici un fel calitatea cunoștințelor în celălalt domeniu. Cunoașterea creierului nu poate ajuta în nici un fel cunoașterea psihicului, după cum nici cunoașterea psihicului nu contribuie cu nimic la explicarea organizării interne a creierului. O asemenea convingere este relativ frecventă în rândul epistemologilor contemporani.

Concepția monistă s-a afirmat inițial în două tendințe opuse, ambele tranșant reducționiste - tendința idealist- spiritualistă și tendința materialist-vulgară. Potrivit celei dintâi, psihicul, conștiința reprezintă factor prim și determinant iar creierul - în calitatea lui de entitate materială- reprezintă factor secund și derivat. Ca urmare, relația se inversează: nu psihicul este o funcție sau o proprietate a creierului, ci creierul este o proiecție, un derivat al spiritului. În concordanță cu cea de-a doua, creierul, ca dat material, precede și determină viața psihică, a cărei natură rămâne materială. A devenit faimoasă afirmația reprezentanților acestei tendințe - Buchner, Vogt și Molechotte - că „creierul secretă gândire în același mod în care bila secretă fiere“.

În cadrul unei paradigme epistemoalogice mai generale constând în explicarea complexității prin raportarea la simplitate, a superiorului prin raportarea la inferior, reducționismul monist de sorginte materialistă se manifestă cu destulă vigoare și în zilele noastre.

Se procedează din aproape în aproape, până se ajunge la ultima consecință- dizolvarea identității psihicului în masa fenomenelor mecano-fizico-chimice. Prima fază o constituie așa numitul reducționism cibernetic: abuzându-se de principiul analogiei, procesele psihice sunt reduse la transformările semnalelor fizice din calculatorul electronic; urmează apoi faza a doua: reducționismul biochimic - procesele psihice sunt reduse și identificate cu transformările și reacțiile chimice care au loc la nivelul creierului ( a se vedea exagerările care se fac pe marginea rolului aminoacizilor, hormonilor și neurotransmițătorilor în determinarea caracteristicilor vieții psihice). În fine, de la nivelul biochimic, demersul reducționist trece la cel biofizic, funcțiile și stările psihice fiind dizolvate în fenomene fizicale: câmpuri, gradient, tensiuni, unde etc. Pe o altă direcție -biogenetică- viața psihică se încearcă a se lega de anumite gene și de interacțiunea lor.



Ceea ce trebuie reținut din datele furnizate de demersurile reduționiste este doar faptul că realizarea activității psihice a omului are în subsidiar un enorm „spațiu” de transformări de ordin biofizic, biochimic și fiziologic, fiecare din acestea având o anumită importanță și un anumit rol. Dar ele nu exprimă și nu epuizează natura calitativă a psihicului, care, ca atare, este altceva decât frecvența sau amplitudinea unui biocurent cerebral, decât reacția chimică sau decât o stare de excitație/inhibiție.

Depășirea aspectului mecanicist al reduționismului s-a încercat prin formularea altor variante ale monismului.

Astfel, Mario Bunge (1978) propune monismul emergentist, care postulează că psihicul emerge din biologic, în anumite condiții de funcționare a acestuia; complexitatea funcționalității interne a biologicului face posibilă emergența gândirii.

La rândul său, Changeux (1983), sub impactul pătrunderii datelor neuroștiințelor în filosofie, formulează ipoteza mecanismului psihoneural, care susține existența unei relații de simetrie și de identitate între fenomenele psihice și cele neurale. Ele constituie una și aceeași realitate care se exprimă fie în limbaj psihologic, fie în limbaj fiziologic.

Sub influența psihologiei cognitive, Pribram (1986) propune o nouă variantă -monismul neutral, care se întemeiază pe teza de principiu că procesele mentale și cele nervoase au structură informatică bazală comună. Aceasta nu este la origine nici fizică, nici mentală, având un caracter neutru.

După Sperry (1987), fenomenele subiective de natură mentală sau cognitivă dețin un rol cauzal, funcțional sau interacționist în cadrul proceselor cerebrale. Din acest motiv, ele dobândesc o nouă legitimitate în știință, reprezentând constructe explicative autonome, ce nu pot fi eliminate.

Cognitivismul consideră creierul ca organ unitar de procesare, evaluare și utilizare a informațiilor de diferite genuri. Funcționarea lui are un caracter modular ceea ce face posibilă corelarea specifică a codificărilor și programelor discrete cu cele analogice.

O valoare metodologică și științifică supraordonată o are însă modelul informațional-sistemic.

Acesta pune la baza funcționării creierului relația de comunicare, iar la baza explicării naturii psihicului - conceptul de informație.

Îndeplinind în cadrul organismului și al relației individului cu mediul rolul de mecanism reglator specializat, creierul are ca funcție intrinsecă colectarea, prelucrarea și utilizarea informației. În forma sa cea mai înaltă de exprimare, informația procesată și integrată o reprezintă procesualitatea psihică, ce se întinde între inconștientul profund și conștiința cea mai acută (intensă).

Diferențierea și individualizarea entităților în cadrul acestui continuum se realizează după caracteristicile conținutului (dimensiunii) semantic și după rolul reglator în cadrul sistemului personalității (dimensiunea prognostică).

Fiind de esență informațională, psihicul nu se poate produce și manifesta ca realitate specifică decât în cadrul relației de comunicare a creierului cu sursele de semnale din mediul intern și extern al organismului.

Modelul informațional-sistemic este singurul care permite înțelegerea veridică a naturii legăturii dintre psihic și creier, el depășind atât eroarea orientărilor neuroanatomiste, care într-o manieră explicită sau implicită caută să deducă psihicul din structura celulară a creierului luat în sine, cât și pe cea a orientărilor dualiste, care consideră cele două entități ca având o existență independentă una de cealaltă.

În lumina acestui model, luat în sine, în afara comunicării informaționale cu mediul intern și extern al organismului, creierul, în virtutea simplei sale organizări celulare, nu ar putea niciodată să genereze psihic. La rândul său, psihicul, ca entitate de ordin informațional, nu se poate realiza și exista decât prin intermediul unui „suport” sau „mecanism” substanțial-energetic.

Pe de altă parte, el depinde de acțiunea și caracteristicile obiective (substanțial-energetice) ale semnalelor (stimulilor) iar pe de altă, de existența unui mecanism specializat, capabil să recepteze și să prelucreză semnalele, producând informație. (Un asemenea mecanism este sistemul nervos, creierul).

La nivelul organismelor vii, se individualizează pentru prima dată proprietățile care permit captarea și prelucrarea influențelor externe, în concordanță cu stările interne de necesitate, aceste proprietăți sunt excitabilitatea și sensibilitatea. De dezvoltarea și perfecționarea lor, și mai ales a sensibilității, se va lega și dezvoltarea structurilor informaționale specifice. Acestea se delimitează în două categorii: a) structuri informaționale biofizilogice, proprii organismelor vegetale, și b) structuri informaționale psihice, care apar la organisme animale. Apariția lor a fost impusă de modul de viață mobil care definește existența animală.

Pentru a-și asigura supraviețuirea, animalul este obligat să exploreze activ spațiul înconjurător, să se deplaseze dintr-un loc în altul. Dar aceasta reclamă dezvoltarea unor funcții speciale de semnalizare, de asociere, de stabilire a unor legături cu valoare adaptivă între stimulii biologice necesari și cei neutri sau indiferenți. Astfel se diferențiază și se dezvoltă progresiv, de la o clasă de animale la alta, organele de simț și sistemul nervos.

Putem afirma că informația psihică reprezintă în sine un ansamblu de date și programe care asigură orientarea și deplasarea activă, selectivă a organismelor animale în mediul ambiant, în vederea satisfacerii optime a trebuințelor biologice fundamentale. Spre deosebire de informația biologică a cărei identitate se suprapune peste transformările biofizice și biochimice și al cărei mecanism îl constituie practic întregul organism, informația psihică tinde să se detașeze și să se individualizeze în raport cu codurile substanțial-energetice prin care se transmite și se realizează numai ca rezultat al unor mecanisme specializate -structurile neuronale.



Astfel, gradul de diferențiere calitativă în interiorul informației psihice, complexitatea ei structurală, valoarea ei reglatoare vor fi condiționate într-o măsură hotărâtoare de nivelul de dezvoltare-organizare al sistemului nervos.

Saltul calitativ cel mai important în evoluția filogenetică a informației se produce odată cu apariția omului și a modului de existență social.

La nivelul omului, informația psihică dobândește atribute calitative noi, cel mai important fiind cel al conștientizării.

În lumina cercetărilor contemporane, este evident că saltul de la informația psihică animală la informația psihică umană nu ar fi fost posibil fără producerea unor transformări evolutive esențiale în organizarea structural-funcțională a creierului. Aceste transformări au devenit premise și totodată capacități funcționale superioare pentru comunicarea cu lumea externă și pentru producerea fluxurilor de semnale emise de diverse surse.

Spunem în mod curent că creierul uman realizează o formă de psihic de natură socio-culturală. Dar, iarăși, trebuie să facem precizarea că aceasta nu se întâmplă automat și necondiționat, ca emanție directă a structurii celulare interne a creierului, ci numai condiționat, ca rezultat al interacțiunii și comunicării individului cu mediul socio-cultural. La naștere, creierul uman nu conține, prin organizarea sa internă, decât potențialitatea sau competența realizării unui psihic specific uman. Pentru ca această potențialitate să se realizeze și competența să treacă în performanță, este necesară stabilirea contactului și relației de comunicare a copilului cu mediul social familial, apoi cu școala. Aceasta ne obligă să facem o distincție de principiu, cu semnificație metodologică generală, între sursa și organul (mecanismul) psihicului. În calitate de sursă, de factor cauzal determinant apar sursele obiective de informație din mediul intern și extern al organismului; psihicul apare și se dezvoltă pe baza extragerii, prelucrării, stocării și utilizării informațiilor conținute în semnalele emise de aceste surse. În calitate de organ (mecanism) al psihicului la fel de evident apare sistemul nervos, creierul.

De aici rezultă că atât în analiza și interpretarea psihicului, cât și în analiza structural-funcțională a creierului trebuie să pornim de la studierea și evaluarea proprietăților stimulilor de diferite modalități.

Originea ectodermică a sistemului nervos ne arată că neuronii s-au format în filogeneză tocmai în punctele de intersecție a traseelor de excitație și prin însăși geneza lor se leagă intim de funcția informațională de prelucrare a însușirilor unor stimuli externi și de elaborarea unor răspunsuri comportamentale adaptative.

Sistemul nervos se dezvoltă nu ca structură pasivă, inertă, ci în însuși procesul funcționării lui.

Creșterea gradului de complexitate al sarcinilor de adaptare și a comportamentelor corespunzătoare reprezintă principala forță motrice a dezvoltării și perfecționării structurilor neuronale. La rândul său, un stadiu evolutiv superior în organizarea structurală internă a sistemului nervos (creierului) favorizează

realizarea unor forme superioare de psihism. Caracterul evolutiv al structurii devine, aşadar, o condiţie internă importantă a dezvoltării funcţionale a organismului. Starea structurii interne a creierului la naştere este esenţială pentru dezvoltarea psihocomportamentală generală a individului. (Dar ea nu este un dat immanent, aprioric, ci rezultatul dezvoltării intrauterine, al embriogenezei, în care se produce o complexă interacţiune între elementele ereditare şi cele ale mediului intrauterin).

Dubla dependenţă a psihicului -de lumea externă ca factor determinant, cauzativ, şi de creier, în calitate de mecanism- duce la apariţia unui întins registru de deosebiri interindividuale. Aceasta ridică în faţa neuropsihologiei anumite exigenţe de ordin metodologic. În primul rând, relaţia psihic-creier trebuie interpretată ca modalitate de integrare dinamică reciprocă a două organizări hipercomplexe.

Trebuie luată în consideraţie nu numai dependenţa directă a organizării psihice de organizarea creierului, ci şi dependenţa inversă, a organizării funcţionale a creierului de organizarea psihicului (influenţa reglatoare psihofiziologică).

În al doilea rând, se impune ca analiza de tip cazuistic individual să fie corelată cu cea a unui eşantion statistic reprezentativ, pentru a se determina în mod obiectiv raportul dintre legic şi întâmplător. În al treilea rând, se cere ca analiza efectelor psihopatologice provocate de leziunile în focar ale creierului să vizeze şi reconstituirea funcţiei normale a pacientului anterior îmbolnăvirii, pentru a evalua mai exact dimensiunea deficitului survenit. (De obicei, evaluarea se face prin raportarea „performanţelor” pacientului la media normală stabilită anterior pe eşantionul statistic reprezentativ). În fine, în al patrulea rând, se cere ca legătura dintre psihic şi creier să fie considerată nu numai la momentul de timp dat, ci şi dinamic, în perspectivă genetic- evolutivă, caracteristicile ei depinzând în mare măsură şi de factorul vârstă. Aspectul legic, esenţial al acestei dependenţe este următorul: în copilărie dinamica acestei legături are un caracter ascendent, dezvoltarea funcţională a creierului fiind secondată de dezvoltarea psihică; la o vârstă înaintată, legătura ia un caracter descendent, fenomenele degenerative în organizarea internă a creierului fiind însoţite de efecte involutive, autropice în sistemul psihic.

### **Specificul mecanismului funcţiei psihice**

În mod logic, de la analiza raportului psihic-creier în plan metodologic general, urmează să se treacă la evidenţierea şi descrierea/ explicarea mecanismelor concrete prin care se realizează o funcţie psihică sau alta. De exemplu, dacă ne putem mulţumi cu răspunsul de genul „psihicul este o funcţie a creierului” nu ne poate satisface un răspuns de acelaşi gen când este vorba de un proces psihic particular: „percepţia este o funcţie a creierului”. În acest din urmă caz, este necesar



să ni se dezvăluie pe larg și cât mai convingător modul concret în care se produce procesul respectiv. Devine așadar firesc să apelăm la noțiunea de mecanism specific.

Modelul informațional sistemic asupra naturii și organizării psihicului în general, impune precizarea expresă a sensului termenului de „mecanism al funcției psihice“.

În primul rând, mecanismul nu mai poate fi identificat cu un centru nervos insular, care funcționează în mod automat și invariant după același algoritm.

Spre deosebire de mecanismul unei funcții biologice care are un caracter uninivelar și produce funcția respectivă în mod automat, în virtutea activismului său intrinsec, mecanismul funcției psihice are o organizare multinivelară, pe verticală, constelațională, pe orizontală, și produce funcția respectivă condiționat, prin receptarea și prelucrarea semnalelor informaționale din afară.

Însăși funcția psihică, spre deosebire de cea biologică, are un caracter multidimensional și multifazic, fiind alcătuită din verigi și operații diferite, care reclamă rețele și moduli neuronali diferiți.

În același timp, ca parte a unui sistem integrativ supraordonat, starea unei funcții psihice concrete va depinde esențial de starea celorlalte componente ale sistemului. Afectarea unei componente va duce la perturbarea echilibrului întregului sistem. Această particularitate de la nivelul funcțiilor psihice se va reflecta și la nivelul mecanismelor neuronale. La nivelul creierului, formarea mecanismelor specifice diferitelor funcții psihice se desfășoară după principii sistemice. Ca urmare, nu vom avea de a face cu mecanisme individuale izolate, închise, ci cu mecanisme interdependente, care se influențează și se condiționează reciproc. Raporturile dintre ele pot fi de coordonare, de subordonare și integrare sau antagonice. Creierul, în ansamblul lui, devine astfel un mecanism integrativ supraordonat, dinamic, eterogen și multidirecțional.

Așa cum delimitarea și izolarea unei funcții psihice particulare au un caracter relativ și sunt valabile numai din punct de vedere didactic sau științific, tot astfel, doar relativ și convențional putem desprinde din ansamblul sistemic cerebral o anumită structură și s-o analizăm ca mecanism individual specific. Dar nici în acest caz nu putem face total abstracție de conexiunile și interacțiunile „părții“ în discuție cu celelalte componente și de principiile generale de organizare a creierului ca sistem.

Schema de abordare a funcționării creierului „input-output“ se aplică și în analiza funcțiilor diverselor mecanisme concrete ale actelor psihocomportamentale.

Dacă am cerceta și interpreta separat fiecare structură cerebrală individuală și am încerca apoi să punem cap la cap datele obținute, n-am ajunge niciodată să înțelegem legile generale ale organizării funcționale a creierului.

Însăși organizarea funcțională a mecanismelor diferitelor procese psihice particulare se bazează pe principii sistemic integrative. În interiorul oricărui mecanism particular are loc o diferențiere și o diviziune funcțională, diferitele

structuri sau formațiuni ce-l alcătuiesc realizând anumite laturi sau verigi ale actului psihic integral. Astfel, unele realizează fazele incipiente, pregătitoare, altele -fazele intermediare, iar altele -fazele finale, terminale. Rezultă, așadar, că mecanismele funcțiilor psihice au o organizare multifazică, multigraduală, dar se manifestă întotdeauna unitar, putând să-și îndeplinească rolul numai integrând rezultatele fiecărei verigi (părți) componente.

Pe lângă structurile neuronale propriu-zise și conexiunile dintre ele, în componența mecanismului unei funcții psihice trebuie incluse și verigi de ordin psihic. Acestea sunt de două feluri: omogene și eterogene. Primele constau din elementele informaționale și operaționale ce țin de același proces psihic (în forma și structura la care a ajuns el până în acel moment).

Așa, de exemplu, în mecanismul percepției identificarea unui obiect nu este rezultatul activității structurii analizatorului respectiv în sine, ci devine posibilă numai prin includerea informației (imaginii) obținută în cursul percepției anterioare a acelui obiect. În mod analog, desfășurarea oricărui proces concret de gândire este performată nu numai de zonele corticale corespunzătoare luate în sine, ci este mediată și de structurile informațional-conceptuale și de schemele logico-operaționale elaborate anterior.

Structurile neuronale, în cursul performării actelor psihice, se psihizează, devin „neuropsihoni“ - structuri saturate de psihism. Pe măsură ce se constituie și se consolidează, actele psihice tind să se autoinstrumenteze, să se autocondiționeze și să se autofaciliteze.

Verigile eterogene aparțin altor procese decât cel considerat în momentul dat. Așa cum am mai menționat, datorită puternicei interacțiuni existente în sfera vieții psihice, nu există un asemenea proces particular al cărui mecanism să nu includă influența și condiționarea din partea celorlalte.

În mecanismul percepției se includ: influența limbajului, veriga mnezică, influența gândirii, veriga afectiv-motivațională; la rândul său, mecanismul gândirii include: veriga verbală, veriga perceptivă, veriga mnezică, etc.

Este evident atunci că implicarea verigilor psihice introduce modificări semnificative în însăși starea funcțională a structurilor neuronale care intră în alcătuirea mecanismului primar al procesului considerat. Logica desfășurării evenimentelor în cadrul acestor structuri va depinde nu numai de prezent (de stimulul sau situația actuală), ci și de trecut (experiența anterioară acumulată).

Așadar, modelul actual de „mecanism al funcționării psihice“, pe lângă coordonate de ordin spațial, include și coordonate temporale, iar alături de componenta substanțial-energetică cuprinde și componente informaționale. Cu alte cuvinte, mecanismul neuropsihic este un construct logistic autoreglabil și autoorganizabil.

O atare interpretare permite nu numai o rezolvare adecvată în plan teoretic, a problemei raportului „psihic-creier“, ci deschide perspective noi și în domeniul practicii educaționale și clinice.



## Capitolul II

# STRUCTURA MICROSCOPICĂ ȘI BIOCHIMIA SISTEMULUI NERVOS CENTRAL (SNC) AL OMULUI

### Introducere

Sistemul nervos este unic în ceea ce privește imensa gamă de mecanisme de comandă-control de care dispune. El primește milioane de biți de informație de la diverse organe senzoriale, pe care le prelucerează și le integrează pentru a determina răspunsul adecvat din partea organismului.

Structura generală a sistemului nervos include trei componente principale: a) un compartiment senzorial (receptorii senzoriali), b) un compartiment motor (efectorii) și c) un comportament asociativ-integrativ.

Compartimentul senzorial ne arată că majoritatea activităților sistemului nervos este inițiată de experiențe senzoriale provenite de la receptori (vizuali, auditivi, tactili, etc). De la aceștia, informațiile ajung la sistemul nervos central prin nervii spinali sau cranieni și sunt conduse către multiple arii senzoriale primare din: măduva spinării, substanța reticulată (bulbară, pontină, mezencefalică), cerebel, talamus și cortexul cerebral.

Ulterior, semnalele sunt transmise zonelor de asociație ale sistemului nervos, pentru a fi prelucrate, astfel încât răspunsul motor ce trebuie dat să fie cât mai adecvat. Experiența senzorială poate produce o reacție imediată sau poate fi memorizată pentru un timp de ordinul minutelor, săptămânilor sau chiar anilor putând apoi ajuta la condiționarea reacțiilor organismului într-un moment viitor.

Totuși, peste 99% din informațiile senzoriale sunt eliminate de creier ca fiind ne-semnificative sau neimportante. După selectarea informației senzoriale importante, aceasta este canalizată spre regiunile motorii cerebrale corespunzătoare pentru a produce răspunsul dorit. Canalizarea informației definește funcția reglatoare a sistemului nervos.

Astfel, dacă o persoană pune mâna pe un obiect fierbinte, aceasta este retrasă imediat. Gestul respectiv, împreună cu alte răspunsuri asociate (țipătul de durere, lacrimarea, îndepărtarea întregului corp de obiectul respectiv), reprezintă punerea în funcție numai a unei mici porțiuni din sistemul motor al organismului.

Compartimentul motor are un rol important în controlul diverselor activități ale organismului prin contracția mușchilor scheletici din întregul corp, prin contracția mușchilor netezi din organele interne și prin secreția glandelor endo- și

exocrine. Mușchii și glandele au primit denumirea de efectori, deoarece desfășoară funcții dictate de semnalele nervoase de comandă.

Axul motor al sistemului nervos pentru controlul mușchilor striati este format din următoarele sectoare: măduva spinării, substanța reticulată (bulbară, pontină, mezencefalică), ganglionii bazali, cerebelul și cortexul cerebral. Fiecare din sectoarele enumerate joacă rolul său specific în controlul mișcărilor corpului, nivelurile nervoase inferioare fiind implicate în primul rând în răspunsul automat al organismului la stimulii senzoriali. Nivelurile nervoase superioare sunt implicate în mișcările voluntare controlate de procesele de gândire.

Paralel cu acesta, acționează un alt sistem motor care controlează musculatura netedă și glandele, numit sistem nervos autonom.

Totuși, numai o mică parte din informațiile senzoriale importante provoacă un răspuns motor imediat. Majoritatea informațiilor sunt stocate pentru controlul ulterior al activităților motorii și pentru utilizarea sa în procesul de gândire. Informațiile stocate în sistemul nervos participă la mecanismele de prelucrare ulterioară, prin faptul că gândirea compară noile experiențe senzoriale cu cele memorate. Memoria ajută la selectarea noilor informații senzoriale importante și la canalizarea lor spre arii de stocare adecvate în vederea utilizării ulterioare, sau spre arii motorii pentru a produce răspunsuri din partea organismului (Guynton, 1997).

Psihoneurologia se interesează nu numai de anatomia și fiziologia SNC, ci și de legăturile care se stabilesc între fiziologia organismului în general și comportamentul său.

Fiziologia încorporează totalitatea sistemelor fiziologice din corp - sistemul nervos, sistemul endocrin (tiroidian, pituitar, adrenal etc.), sistemul exocrin (glandele sudoripare, glandele lacrimale etc.), sistemul gastrointestinal, sistemul circulator, sistemul muscular etc.

Deși interesul predominant al psihoneurologiei este axat pe creier și pe restul sistemului nervos, în capitolele următoare vom vorbi și despre aceste sisteme.

Pentru înțelegerea adecvată a raportului psihic-creier se impune efectuarea unei analize la nivel anatomic global care să evidențieze structura și funcțiile neuronului, modul de grupare a elementelor neuronale de-a lungul nevraxului și relevarea marilor conglomerate neuronale cu importanță deosebită în plan psihocomportamental.

Anatomia și fiziologia clasică a SNC s-au constituit și s-au dezvoltat făcând abstracție aproape total de implicarea diferitelor structuri și procese neurofiziologice în producerea vieții și activității psihice.

Aceasta a atras după sine axarea analizei psihologice în plan fenomenologic-trăirist și prierea acestora de una dintre cele mai importante surse de argumentare obiectivă, științifică. De-abia în ultimile decenii s-a produs o schimbare de opțiune de natură să stabilească o relație de comunicare și cooperare între cele trei științe, care facilitează înțelegerea adecvată a specificului raportului psihic-creier. Unitatea structurală de bază a sistemului nervos este neuronul. El este o celulă vie și are aceeași schemă structurală cu cea a SN.



## Neuronul

Toate celulele corpului sunt constituite după același tipar: prezintă un nucleu care conține cromozomi și material genetic cu catene de acid deoxiribonucleic (ADN) și acid ribonucleic (ARN), o citoplasmă gelatinoasă cu mitocondrii pentru producerea energiei și ribozomi pentru sinteza proteică. Fiecare celulă din corp, conține un număr identic de cromozomi, care la om este de 46. Pe lângă faptul că reprezintă caracteristicile unui organism și controlează transmiterea caracterelor de la o generație la alta, cromozomii și ADN-ul dirijează însăși celula care-i conține. În ciuda faptului că celulele au același pattern de bază, ele se specializează în decursul dezvoltării organismului, în mod inexplicabil. Dacă ne referim la sistemul nervos observăm că acesta are o structură de tip discret, discontinuu. Din punct de vedere histologic, el se compune din elemente celulare, cărora le revin 75% din masa totală a țesutului nervos (35% celule neuronale și 40% celule nevroglice), substanță intermediară necelulară (lichid extracelular cu elemente macromoleculare) care reprezintă circa 15%, și rețeaua de vase sanguine care ocupă circa 10%. Firește, aceste proporții variază semnificativ în funcție de natura țesutului nervos (substanță albă sau substanță cenușie, segmente centrale etc.).

**Structura neuronului** Deși neuronii variază considerabil ca formă și mărime, ei au caracteristici comune. Un neuron tipic are patru regiuni morfologice: corpul celular, compus din nucleu și perikarion, dendrite, axon și terminații presinaptice. Fiecare din aceste părți are o anumită funcție.

Nucleul este cel mai important organit celular, dar după completa dezvoltare a sistemului nervos acest nucleu nu suferă mitoze și în consecință neuronul matur este incapabil de reproducere. El este înconjurat de o membrană dublă cunoscută sub numele de înveliș nuclear ce permite comunicarea cu citozolul prin intermediul porilor care o perforază. Membrana nucleară externă se continuă cu membrana reticulum-ului (RE) endoplasmic reprezentat de un sistem continuu, format din saci și tubuli membranari care se extind în aproape întreaga celulă. RE este sediul major al noilor sinteze membranare. Aarii întinse ale acestuia, numite reticulum endoplasmic ordinar, au atașate pe suprafața citozolică ribozomi.

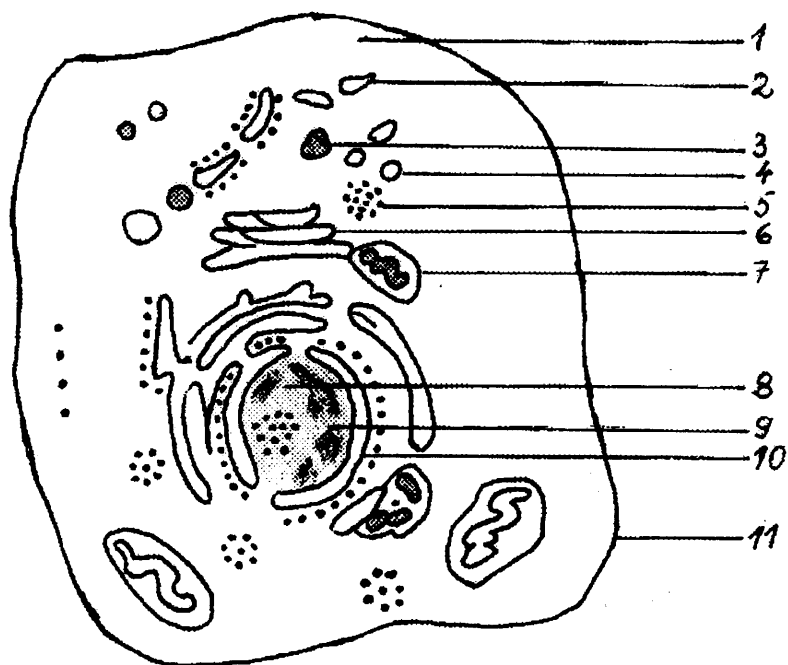
Ribozomii sunt angajați activ în sinteza proteică distribuită lumenului RE sau membranei RE.

Reticulumul endoplasmic neted dezvoltat mai mult în unele celule și mai puțin în altele are funcții particulare. În celulele glandei adrenale reprezintă locul sintezei hormonului steroid.

Aparatul Golgi situat în mod obișnuit lângă nucleu primește de la RE proteine și lipide pe care le modifică și apoi le distribuie anumitor trebuințe celulare.

Lizozomii sunt saci mici cu enzime digestive. Ei degradează organele uzate, macromoleculele și particulele aduse intracelular prin endocitoză. În drumul lor către lizozomi materialele endocitate trec mai întâi printr-o serie de compart





**Fig. 2. Celula animală**

1. Citozol; 2. Endozomi; 3. Peroxizomi; 4. Lizozomi; 5. Ribrozomi liberi; 6. Aparatul Golgi; 7. Mitocondrie; 8. Nucleul; 9. Cromatinină (AND); 10. Reticulum endoplasmic cu ribozomi legați de membrană; 11. Membrană plasmatică.

mente numite endozomi care sortează și reciclează unele molecule ingerate, pentru membrana plasmatică.

Peroxisomii sunt organite mici delimitate de o singură membrană. Ei conțin enzime utile într-o serie de reacții oxidative de degradare a lipidelor și de distrugere a moleculelor toxice. Mitocondria înconjurată de o membrană dublă este locul fosforilării oxidative deoarece membrana acestora este specializată în producerea ATP (Fig 2).

Multe din aceste organite delimitate de membrane (RE, aparatul Golgi, mitocondria) sunt menținute în aproximativ aceleași locuri intracelulare cu ajutorul unui citoschelet format în special din microtubuli. Filamentele citoscheletice reprezintă traiecte pentru mișcarea organitelor de jur împrejur și pentru traficul vezicular.

Propulsarea organitelor și veziculelor de-a lungul filamentelor este dirijată de proteinele motoare care utilizează energia provenită din hidroliza ATP.

Membrana care delimitează organitele ocupă, în medie, jumătate din volumul celulelor eucariote (cu membrana în jurul nucleului).

Într-o celulă tipică de mamifer, aria membranei RE este de 20-30 de ori mai mare decât cea a membranei plasmatică.

În corpul neural au loc procesele de analiză-sinteză a informației. Din această cauză neuronul este asemănat cu un microsistem logistic capabil de a efectua operații de comparație, discriminare, clasificare, bazate pe criterii de ordin pragmatic, semantic și sintactic. Natura și conținutul transformărilor efectuate depind de specializarea funcțională a neuronilor (senzorială, motorie sau de asociație). Prin urmare, celulele din sistemul nervos sunt mai variate decât în oricare altă parte a organismului. Diversitatea citologică este rezultatul procesului de dezvoltare biologică numit diferențiere. Fiecare tip de celulă sintetizează numai anumite macromolecule (enzime, proteine structurale, constituenți membranari și produși de secreție). Dar nu toți constituenții neuronului sunt specializați. Multe molecule sunt comune tuturor celulelor corpului, unele sunt caracteristice tuturor neuronilor, altele unei mari clase de neuroni și, în sfârșit, unele molecule sunt caracteristice numai unui număr mic de celule nervoase. Astfel, fiecare neuron are molecule generale și combinații specifice (Schwartz, 1991). Transmiterea sinaptică printr-un neuron motor care se face cu ajutorul acetilcolinei are nevoie nu numai de biosinteza enzimei colinice acetiltransferaza, dar și de o membrană proteică specială care nu poate fi întâlnită la celulele senzoriale sau la neuronii necolinergici, precum și de o pompă proteică specifică, transportoare de colină, precursorare esențială a transmiterii. Cea mai importantă funcție a corpului celei neuronale este aceea de a sintetiza macromolecule. Ca și în celelalte celule, în neuroni informația genetică de encodare proteică și aparatul complex de sintetizare sunt conținute în ADN-ul celei. Apoi, neuronii au mitocondrii și enzime atât pentru biosinteza moleculelor mici, cât și pentru metabolismul intermediar - căi majore care transformă carbohidrații și alte substanțe în energie de consum. Deoarece celulele nervoase sunt excitabile, au unii constituenți membranari comuni cu alte țesuturi excitabile și mulți componenți înalt specializați care aparțin numai unei anume clase de celule nervoase specifice. Astfel, numai anumiți neuroni conțin una sau alta din substanțele transmițătoare, canale ionice speciale, mecanisme de transport membranar sau receptori pentru neurotransmițători. Deci, pentru clarificarea funcției neurale este necesară, identificarea și caracterizarea acestor molecule generale și neuronale specifice (Schwartz, 1991).

**Dendritele și axonul.** La nivelul corpurilor celulare ai celor mai mulți neuroni întâlnim două feluri de fibre nervoase, denumite dendrite și axoni. Un neuron are de obicei mai multe dendrite și un singur axon. La majoritatea neuronilor, dendritele sunt relativ scurte și mult arborizate. Aceste fibre împreună cu membrana corpului celular, reprezintă principala suprafață receptivă a neuronului, care comunică cu fibrele provenite de la alți neuroni. Axonul ia naștere dintr-o ușoară ridicătură a corpului celular, fiind prelungirea centrifugă cea mai lungă a neuronului. El

asigură transmiterea excitației către alt neuron sau către un aparat efector. Axonul care transmite impulsurile de la măduva spinării până la mușchii degetelor poate atinge lungimea de 60-90 cm, în funcție de lungimea membrului inferior.

În citoplasma axonului se găsesc numeroase mitocondrii, microtubuli și neurofibrile, dar ridicătura axonală și axonul sunt lipsite de ribozomi și de posibilitatea sintezei proteice. Sintezele macromoleculare sunt asamblate la nivelul organelor din interiorul corpului celular și transportate de-a lungul axonului până la terminațiile presinaptice printr-un proces de transport axoplasmic. Când este secționat axonul degenerază și moare. Deși inițial apare ca fibră unică, axonul poate da ramuri laterale, iar la capătul său terminal poate prezenta ramuri fine, specializate, care vin în contact cu suprafața receptoare a altor celule. Axonii mai mari ai nervilor periferici sunt incluși într-o teacă compusă din celule gliale, numită teaca Schwann. Aceste celule sunt srâns încolăcite în jurul axonului. Ca rezultat, axonii sunt căpușiți cu numeroase straturi de membrane celulare care au între ele puțină citoplasmă sau deloc. Păturile membranare sunt compuse din lipo-proteine cu o cantitate mai mare de lipide decât alte suprafețe membranare. Această lipo-proteină denumită mielină formează o teacă în exteriorul axonului care este esențială pentru conducția cu viteză mare a potențialelor de acțiune. Mielina centrală și periferică conține același grup de proteine (proteine mielinice de bază) care sunt înalt antigenice. Injectate la animal, proteinele mielinice de bază produc un răspuns autoimun celular numit encefalomielită alergică experimentală, caracterizată prin inflamații focale și demielinizări la nivelul SNC. Această maladie experimentală a fost utilizată de unii investigatori ca model pentru scleroza multiplă, boală umană relativ frecventă. Scleroza multiplă se manifestă în mod primar prin afectarea performanțelor motorii și senzoriale, deoarece demielinizarea axonilor interferează cu conducerea impulsurilor și deci cu percepția senzorială și coordonarea motorie. În plus, porțiunea din celulele Schwann care conține citoplasmă și nucleu rămâne în afara tecii de mielină, formând neurilema (teaca neurilemală), care înconjoară teaca de mielină. Teaca este întreruptă la intervale regulate de către strangulațiile lui Ranvier. Deoarece axonul senzorial primar din nervul femural are 0,5 m lungime, iar distanța internodală (dintre strangulații) este de 1-1,5 mm se poate estima că de-a lungul fibrei aferente, între mușchii coapsei și ganglionul rădăcinii dorsale unde se află corpul celular, există circa 300-500 noduri Ranvier. Fiecare segment internodal este format dintr-o singură celulă Schwann. Și axonii mai mici sunt înconjurați de celule Schwann, dar acestea nu acoperă întreaga suprafață a axonului.

În consecință acești axoni sunt lipsiți de teaca mielinică. Axonii care posedă teaca de mielină capătă denumirea de fibre nervoase mielinizate, iar cei fără teacă de mielină sunt denumiți nemielinizați.

Aproape de terminație, axonul se divide în ramuri fine care au niște umflături specializate denumite terminale presinaptice. Acestea reprezintă elementele transmițătoare ale neuronului. Cu ajutorul terminațiilor sale, un neuron



transmite informația cu privire la propria sa activitate suprafeței receptive (dendrite sau corp celular) a altor neuroni. Punctul de contact se numește sinapsă. Celulele care transmit informația în afară poartă denumirea de celule presinaptice, iar cele care primesc sau recepționează informația se numesc celule postsinaptice. Spațiul care separă celulele presinaptice de cele postsinaptice este denumit fantă sinaptică. Grupurile de fibre mielinizate apar albe, iar masa acestora formează substanța albă a sistemului nervos. Fibrele nemielinizate și corpul celulelor neuronale corespund substanței cenușii a sistemului nervos. Important de reținut este faptul că neuronul este o celulă unică a cărei citoplasmă umple axonii și dendritele. Numărul neuronilor este de  $5 \times 10^9$ , din care 14 miliarde se află la nivelul cortexului cerebral. Când neuronii sunt lipsiți de oxigen, ei suferă o serie de modificări structurale ireversibile, care le modifică forma și le ratatinează nucleul. Fenomenul poartă denumirea de modificare celulară ischemică, care în timp duce la dezintegrarea celulelor afectate. Deficiența de oxigen poate proveni din lipsa fluxului sanguin (ischemie), din diminuarea concentrației oxigenului sanguin sau din blocarea respirației aerobice de către unele toxine.

**Clasificarea neuronilor.** Pe baza diferențelor structurale, a numărului și formei proceselor neuronale care iau naștere din corpul celular, neuronii sunt clasificați în trei grupe majore: unipolari, bipolari și multipolari.

1) Neuronii unipolari au un singur proces primar (o singură fibră nervoasă) care se extinde de la corpul celulei și care poate da naștere la mai multe ramuri. La scurtă distanță de corpul celular această fibră se poate divide în două ramuri: un ram este conectat cu o parte din periferia corpului servind drept dendrită, iar celălalt intră în creier sau în măduva spinării servind drept axon. Aceste celule predomină atât la nevertebrate cât și în masa unor ganglioni localizați în afara creierului și măduvei spinării, ganglioni care aparțin sistemului nervos autonom.

2) Neuronii bipolari au o somă ovoidă care dă naștere la două procese (fibre nervoase): unul periferic sau dendrită care transportă informația de la periferie și un altul central sau axon, care duce informația către SNC. Acești neuroni se găsesc la nivelul părților specializate ale ochilor, nasului și urechii. Unele celule bipolare localizate la nivelul ganglionilor spinali au rolul de a transporta informația tactilă, dureroasă și de presiune.

3) Neuronii multipolari predomină la nivelul sistemului nervos al vertebrateilor. Aceste celule au un singur axon și una sau mai multe ramuri dendritice care emerg din toate părțile corpului celular. Cei mai mulți neuroni al căror corp se află în creier și măduva spinării sunt de acest tip. Numărul și extinderea proceselor dendritice corelează cu numărul contactelor sinaptice făcute cu alți neuroni. O celulă spinală motoare, ale cărei dendrite sunt moderate ca număr și extindere, are circa 10.000 de contacte - 2000 pe corpul celular și 8000 pe dendrite. Marea arborizație dendritică a unei celule Purkinje din cerebel primește aproximativ 150.000 de contacte.

Pe baza diferențelor funcționale, neuronii cerebrali pot fi clasificați în trei grupe majore: senzoriali, motori și interneuroni.

1) Neuronii senzoriali sau aferenți sunt aceia care transportă impulsurile nervoase de la periferia corpului către creier sau măduva spinării. Acești neuroni pot avea uneori, în vârful dendritelor terminații receptoare specializate, iar alții au dendrite strâns asociate cu celule receptoare localizate în piele sau în diferite organe senzoriale.

Stimularea terminațiilor receptoare sau a celulelor receptoare se produce în prezența modificărilor care apar în interiorul sau în afara corpului. Impulsurile transmise de-a lungul fibrelor neuronilor senzoriali ajung la creier sau la măduva spinării, unde sunt prelucrate de către alți neuroni. Neuronii senzoriali sunt specializați în receptarea informației emise de sursele din afara sistemului nervos central, în prelucrarea ei și în elaborarea în final a unui model adecvat al unei însușiri sau al stimulului în ansamblu. Gruparea acestor neuroni la diferite niveluri ale nevraxului împreună cu căile nervoase alcătuite din terminațiile lor dendritice și axonice formează marile sisteme ale sintezei aferente.

Trebuie remarcat faptul că există o deosebire între neuronii aferenți sau primari și cei senzoriali. Termenul de aferent este aplicat tuturor informațiilor conștiente și inconștiente care de la periferie ajung la SNC. Termenul de senzorial este aplicat numai inputurilor aferente care generează în creier percepții conștiente.

2) Neuronii motori sau eferenți transmit impulsurile nervoase în afara creierului sau măduvei spinării, la efectorii musculari sau glandulari. Când un impuls motor ajunge la un mușchi, acesta se contractă; când impulsul nervos ajunge la o glandă, aceasta eliberează secreție. Prin urmare neuronii motorii sunt specializați în elaborarea mesajelor de comandă și a răspunsurilor la stimulii din mediul intern sau extern al organismului. Gruparea lor ierarhică formează marile sisteme ale sintezei eferente.

3) Interneuronii (neuroni intercalari sau de asociație) se află în interiorul creierului sau a măduvei spinării. Ei formează legături între neuronii senzoriali și cei motori. Funcția interneuronilor este aceea de a transmite impulsuri dintr-o parte a creierului sau măduvei spinării la cealaltă. Datorită acestui fapt, ei pot direcționa impulsurile senzoriale primite către centrii corespunzători pentru prelucrare și interpretare.

Alte impulsuri sosite sunt transferate neuronilor motorii. Interneuronii reprezintă clasa cea mai numeroasă de celule din sistemul nervos care nu au specificitate senzorială sau motorie. Neuronii de asociație se deosebesc după lungimea axonului. Cei cu axoni lungi (celule de tip Golgi I) transmit informația la distanțe mari, de la o regiune cerebrală la alta, căpătând numele de interneuroni de proiecție.

Interneuronii cu axoni scurți (celule Golgi de tip II) prelucrează informația în interiorul unei regiuni cerebrale specifice fiind numiți interneuroni locali. Gruparea neuronilor asociativi formează zonele de asociație sau integrative ale



SNC. Pe măsura trecerii de la un segment inferior la altul superior, ponderea neuronilor asociativi și implicit a zonelor de asociație crește semnificativ. Astfel, la nivelul scoarței cerebrale zonele de asociație reprezintă aproximativ 2/3 din suprafața totală. Întrucât un neuron asociativ poate primi semnale de la neuronii senzitivi aparținând unor subsisteme modale diferite, precum și de la neuronii motori aparținând unor zone diferite, el poate efectua comparații și integrări intermodale. Corespunzător, la nivelul zonelor de asociație se vor realiza integrări complexe, supraordonate, cu conținut informațional calitativ superior.

**Clasificarea celulelor nervoase după nivelul lor molecular.** Modelul celor patru componente, aplicabil la vasta majoritate a neuronilor, reprezintă o simplificare care nu corespunde detaliilor tuturor acestora. De exemplu, unii neuroni nu generează potențiale de acțiune. Aceștia sunt interneuroni tipici locali, lipsiți de componenta conductilă, deoarece nu au axon sau au unul foarte scurt. Semnalele aferente care sosesc la acești neuroni sunt răspândite pasiv în regiunea terminală unde afectează în mod direct secreția. Alte celule nu au potențial de repaus ferm, fiind prin urmare active spontan. Alți neuroni utilizează diferite combinații de canale ionice la nivelul membranelor lor.

Diversitatea canalelor ionice face ca neuronii să aibă praguri diferite, excitabilitate diferită și patternuri de stimulare diferite.

De exemplu, neuronii cu canale ionice diferite pot encoda același potențial sinaptic în diferite patternuri de stimulare. Neuronii diferă de asemenea și după receptorii și transmițătorii lor chimici. Aceste diferențe au importanță fiziologică, dar ele trebuie luate în considerație pentru faptul că unele maladii afectează numai una din aceste clase neuronale. Astfel, anumite procese patologice ating neuronii motori (de exemplu, scleroza laterală amiotrofică sau poliomielita), în timp ce altele, cum ar fi tabesul, afectează inițial neuronii senzoriali.

În maladia Parkinson este afectată în particular populația interneuronilor din substanța neagră a ganglionilor bazali care au drept transmițător chimic dopamina. Alte boli lovesc în mod selectiv neuronul, altele elementele receptoare sau axonul. Din cauza existenței atât de multor tipuri celulare, fiecare tip având componente moleculare distincte, sistemul nervos este atacat de o mare varietate de boli neurologice și psihiatrice.

În ciuda acestor diferențe, proprietățile semnalelor electrice de bază ale celulelor nervoase sunt în mod surprinzător similare.

Dat fiind numărul mare al diferitelor celule nervoase cerebrale această similaritate este fericită.

Dacă putem înțelege în profunzime mecanismele moleculare de producere a semnalelor într-un anumit tip de celulă, vom putea găsi calea înțelegerii acestor mecanisme și în multe alte feluri de celule nervoase (Kandel, 1991).



## Celulele nevrogliale

Corpul celulelor nervoase și axonii sunt înconjurați de celule gliale. Acestea se află într-o proporție de 10 până la 50 de ori mai mare decât neuronii din SNC al vertebratelor. Se presupune că celulele gliale nu sunt esențiale pentru prelucrarea informației, dar au numeroase alte roluri:

a) Ele servesc ca elemente de suport, dând fermitatea și structura creierului. De asemenea, ele separă unele de altele diferite grupe neuronale.

b) Două tipuri de celule gliale, oligodendrocitele din SNC și celulele lui Schwann din SNP (sistemul nervos periferic), formează mielină, pătură izolatoare care acoperă axonii cei mai mari.

c) Unele celule gliale sunt gunoiere, deoarece înlătură celulele neuronale care mor din diferite cauze.

d) Celulele gliale tamponează concentrația ionilor de  $K^+$  din spațiul extracelular și înlătură transmițătorii chimici eliberați de neuroni în timpul transmiterii sinaptice.

e) În timpul dezvoltării lor, anumite clase de celule gliale ghidează migrarea neuronilor și direcționează creșterea axonilor în afară.

f) Unele celule gliale induc formarea joncțiunilor strânse, impermeabile a celulelor endoteliale care căptușesc capilarele și ventriculii cerebrali, creând astfel bariera hematoencefalică (BHE).

g) Alte celule gliale au funcții nutritive pentru celulele nervoase.

La nivelul SN al vertebratelor deosebim două categorii de celule gliale: microglia și macroglia.

Microglia derivă din macrofage, dar embriologic și fiziologic nu are nici o legătură cu alte tipuri de celule ale sistemului nervos. Celulele microgliale sunt fagocite și se mobilizează după traumatisme, infecții și alte boli.

Macroglia se compune din trei tipuri celulare predominante: astrocitele, oligodendrocitele și celulele Schwann.

1) *Astrocitele* sunt cele mai numeroase celule gliale dar și cele mai enigmatice. Ele se situează de obicei între țesutul nervos și vasele sanguine. Altele contactează vasele sanguine luând parte la formarea joncțiunilor etanșe ale celulelor endoteliale. Această structură etanșă și impermeabilă între celulele care căptușesc capilarele formează BHE, care stopează posibilitatea pătrunderii substanțelor toxice din sânge în creier. Astrocitele care înconjoară regiunea sinaptică adună și înlătură anumiți neurotransmițători cu afinitate înaltă. Faptul că astrocitele au prelungiri care vin în contact atât cu capilarele sanguine cât și cu neuronii sugerează că aceste celule au și un rol nutritiv. Astrocitele împreună cu microglia pot înlătura detritusurile neuronale care apar după diferite agresiuni cerebrale. În fine, Kuffler și colab. 1984) relevă înalta permeabilitate a astrocitelor pentru  $K^+$  și posibilitatea acestora de a tampona excesul de  $K^+$  eliberat în timpul activității neuronale crescute în spațiul extracelular. Înmagazinarea excesului de  $K^+$  în

astrocite protejează neuronii vecini de depolarizarea care se produce în cazul acumulării  $K^+$ .

Pentru menținerea neutralității electrice, astrocitele pot reține o cantitate de  $Cl^-$  egală cu cea de  $K^+$  neutralizând astfel încărcătura.

Depinzând de activitatea neurală, concentrația  $K^+$  din spațiul extracelular variază între 3 și 10mM. Aceste concentrații sunt critice pentru controlarea diametrului arterelor și arteriolelor cerebrale. Când activitatea neurală aduce concentrația  $K^+$  la 10mM, diametrul vaselor crește cu 50%, iar fluxul sanguin se mărește. Sensibilitatea vaselor cerebrale la  $K^+$  este un mecanism de autoreglare a acestora, astfel încât fluxul sanguin și consumul de oxigen să poată ține pasul cu activitatea neurală (Newman, 1986).

Astrocitele sunt responsabile și de formarea cicatricelor care apar după diferite agresiuni asupra sistemului nervos.

2) *Oligodendrocitele* sunt de obicei aranjate în șiruri de-a lungul fibrelor nervoase și au un rol important în formarea mielinei și în menținerea integrității axonilor mielinizați de la nivelul creierului și măduvei spinării. Totuși, oligoastrocitele nu pot forma teci neurilematoase ca celulele lui Schwann.

3) *Ependimul* format din celule epiteliale alcătuiește o membrană care acoperă părțile specializate ale creierului (plexurile coroide) și ventriculii cerebrali.

Pentru a înțelege mecanismul prin care neuronii produc semnale și modul în care aceste semnale sunt transformate de unul sau altul din componente, este necesar să lămurim mai întâi proprietățile electrice ale membranei celulare.

## Canalele ionice și potențialul de membrană celulară

Membrana celulară sau partea externă a neuronului este formațiunea cea mai specializată, deoarece este încărcată electric sau polarizată. Este semipermeabilă, permițând trecerea diferitelor particule încărcate (ioni) din interior către exterior și invers.

Această polarizare este dată de distribuția inegală a concentrației ionilor pe cele două părți ale membranei, fapt de mare importanță pentru funcționarea celulelor musculare și nervoase.

Distribuția ionilor membranari este determinată în parte de prezența porilor sau a canalelor din aceste membrane. Unele canale pot fi închise, iar altele deschise. Mai mult, ele pot fi selective permițând trecerea numai a unor ioni.

Calea cea mai simplă care permite micilor molecule solubile în apă să traverseze o membrană dintr-o parte în alta este cea a canalelor hidrofile. În membrana celulară această funcție este îndeplinită de canalele proteice ce formează pori apoși care permit mișcarea pasivă a micilor molecule hidrosolubile în, sau în afara organelor celulare.

Unele canale proteice cu pori mai mari formează spații joncționale între celulele adiacente sau între membrana externă a mitocondriei și unele bacterii.

Dacă aceste canale largi și permissive ar conecta direct citozolul unei celule cu spațiul extracelular, atunci s-ar produce o scurgere catastrofală. Dar cele mai multe canale proteice din membrana plasmatică a celulelor diferă, au pori înguști și selectivitate crescută.

Aproape toate aceste proteine sunt canale ionice legate exclusiv de transportul ionilor anorganici, cei mai importanți fiind  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  și  $\text{Ca}^{2+}$ .

Canalele ionice sunt selective și direcționate (cu poartă)

Canalele ionice se deosebesc de porii apoși prin două proprietăți importante.

Prima arată că selectivitatea ionică permite trecerea numai a unor ioni organici și nu a altora. Selectivitatea ionică depinde de diametrul și forma canalelor ionice precum și de distribuția încărcăturii aminoacide din căptușeala lor. Canalele sunt destul de înguste astfel încât prin ele pot trece numai ionii a căror formă și încărcătură sunt corespunzătoare. De exemplu, canalele înguste nu permit trecerea ionilor mari, iar canalele cu încărcătură negativă resping intrarea ionilor negativi din cauza repulsiei electrostatice dintre aceleași tipuri de sarcină.

Astfel, canalele respective desfășoară o activitate selectivă numai pentru un anumit tip de ioni, cum ar fi cei de  $\text{Na}^+$  sau  $\text{Cl}^-$ . Fiecare ion din soluția apoasă este înconjurat de o pătură subțire de molecule cu apă care se pierde în timp ce ionii trec, în rând câte unul, prin partea ce mai îngustă a canalului. Astfel, fluxul ionic prin canal crește proporțional cu concentrația acestuia, până când ajunge la o saturație maximă.

A doua deosebire importantă dintre canalele ionice și porii apoși simpli se referă la deschiderea acestora numai în anumite situații.

Transportul ionic celular nu ar avea nici o valoare dacă fluxul n-ar fi controlat și dacă toate cele câteva mii de canale ionice dintr-o membrană ar fi deschise tot timpul (Alberts și colab. 1998). Astfel, majoritatea canalelor ionice au poartă și se pot închide sau deschide prin modificarea conformației. Această transformare este reglată de anumite condiții din interiorul sau din exteriorul celulei.

Față de cărăușii proteici, canalele ionice au marele avantaj al puterii maxime de transport. Astfel, într-o secundă, pot trece printr-un canal mai mult de un milion de ioni. Această rată de transport este de 1000 de ori mai mare decât rata cea mai rapidă de transport a unui cărăuș proteic. Pe de altă parte, pentru transportarea activă, în afară, canalele nu pot cupla fluxul ionic de o sursă energetică. Funcția celor mai multe canale ionice este numai aceea de a face membrana temporar permeabilă la anumiți ioni anorganici de tipul  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  sau  $\text{Cl}^-$ .

Ea permite scăderea rapidă și difuză a gradientului lor electrochimic în membrană atunci când canalele cu poartă (dirijate) sunt deschise.

Datorită transportului activ prin pompă și prin alte proteine transportoare concentrația transmembranară este departe de a fi în echilibru. Când un canal se deschide, ionii intră rapid în el. La un impuls electric, unii ioni intră iar alții ies



din celulă. Fluxul ionic modifică voltajul transmembrantar (potențialul de membrană) precum și forțele electrochimice de mișcare transmembrantară a altor ioni.

Prin urmare, în câteva milisecunde se închid sau se deschid forțat și alte canale ionice sensibile la modificările potențialului de membrană. Inversarea activității electrice care rezultă se răspândește rapid dintr-o regiune a membranei celulare în alta transmițând astfel mai departe semnalul electric.

Potențialul de membrană stă la baza activității electrice a celulelor protozoare, a plantelor și a animalelor. Canalul ionic este compus din cinci subunități proteice transmembranare care se combină pentru a forma, prin cele două pături lipidice, porul apos. Porul este căptușit de cinci helixuri a transmembranare, câte unul pentru fiecare subunitate. Fiecare capăt al porului este flancat de lanțuri aminoacide încărcate negativ pentru a asigura numai trecerea ionilor încărcati pozitiv ( $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$ ). Când canalul este închis, porul este ocluzionat de lanțul aminoacid hidrofobic la nivelul unei regiuni numită poartă. Când apare legătura acetilcolinică conformația proteică se scambie, lanțurile laterale se depărtează iar poarta se deschide permițând  $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$  să traverseze membrana și să-și lase gradientul lor electrochimic.

La potențialul membrantar răspund canalele ionice cu poartă voltată.

Până acum s-au descoperit peste 100 de tipuri de canale ionice. Ele diferă prin selectivitate (tipul de ioni care pot trece) și prin poartă (condiția care influențează închiderea și deschiderea lor).

Pentru canalele cu poartă voltată probabilitatea deschiderii este controlată de potențialul membrantar. Pentru canalele cu poartă ligantă, cum este receptorul acetilcolinic, deschiderea este controlată de legătura unor molecule (ligant) de proteina canalului. Pentru canalele activate de stress, deschiderea este controlată de o forță mecanică aplicată canalului. Un exemplu important de celule cu acest tip de canale sunt celulele auditive păroase. Vibrația sonoră deschide canalele activate de stress și favorizează pătrunderea ionilor în interiorul celulelor păroase.

Astfel, apare un semnal electric, care este transmis de celulele respective la nervul auditiv iar prin intermediul acestuia la creier.

Canalele ionice cu poartă voltată joacă un rol major în propagarea semnalului electric la nivelul celulelor nervoase. Ele sunt prezente și în multe alte celule ale plantelor și animalelor.

Canalele ionice cu poartă voltată au domenii proteice specializate încărcate numite senzori voltați, care sunt extrem de sensibili la modificările potențialului membrantar.

Peste o anumită valoare de prag, modificările exercită asupra acestor domenii o forță electrică suficientă care acționează asupra canalelor transformându-le din închise în deschise și vice versa. Pe întinderi mari de membră cu un numeros conținut de molecule aparținând canalelor proteice, aproximativ 10% dintre ele sunt deschise oricând, indiferent de potențial, restul de 90% deschizându-se numai când apare un alt potențial.

Experimental, s-a constatat că aceste canale ionice se autocontrolează iar închiderea și deschiderea lor se află sub influența unei bucle de control formată din canale ionice - potențialul de membrană - canale ionice. Aceasta este fundamentală pentru semnalizarea electrică a celulelor.

Potențialul membranal este guvernat de permeabilitatea membranei față de anumiți ioni.

Toate celulele au o diferență de potențial sau un potențial de membrană la nivelul celor două fețe ale membranei plasmatică.

La metale, electricitatea este transportată de către electroni iar în soluțiile apoase aceasta este transportată de ioni încărcăți pozitiv (cationi) sau negativ (anion). Traversarea membranei de către un flux ionic este detectabilă sub forma unui curent electric, sau a unei acumulări de ioni, care, atunci când nu se află într-un echilibru exact datorită acumulării ionilor cu sarcini opuse, este detectabilă ca o acumulare de sarcini, sau a unui potențial de membrană.

Când fiecare ion pozitiv de pe o parte a membranei este contrabalansat de un contraion negativ de pe cealaltă parte a membranei, atunci potențialul membranal este zero. Când o parte din ioni pozitivi traversează membrana lăsând în urmă contraionii lor negativi atunci se instalează un potențial membranal diferit de zero.

Pentru a vedea cum ia naștere și cum se menține potențialul de membrană în stare de repaus și de nestimulare trebuie să luăm în considerație mișcarea ionilor către interiorul și exteriorul celulei animale. Încărcăturile negative de pe moleculele organice din interiorul celulei sunt mult echilibrate de către  $K^+$ . Concentrația intracelulară înaltă de  $K^+$  se datorează în parte pompei de  $Na^+$ - $K^+$  care pompează activ  $K^+$  în celulă. Astfel, concentrația  $K^+$  este mult mai mare în interiorul celulei decât în afara ei. Apoi, membrana plasmatică are un set de canale de  $K^+$  cunoscute sub numele de canale de scurgere. Aceste canale oscilează la întâmplare între starea deschisă și cea închisă, indiferent dacă condițiile se află în interiorul sau în afara celulelor.

Atunci când ele sunt deschise, permit mișcarea liberă a  $K^+$ . Dacă celula se află în repaus, ele sunt principalele canale ionice deschise din membrana plasmatică prin care trec mai mulți ioni de  $K^+$  decât alți ioni.

Prin aceste canale,  $K^+$  are tendința de a se scurge în afara celulei micșorând gradientul său de concentrație. Dar orice transfer de sarcini pozitive către exterior lasă în interiorul celulei o înbalanță de sarcini negative care dă naștere unui câmp electric sau potențial de membrană, care se opune deplasării  $K^+$  în afara celulei. În circa o milisecundă se stabilește o condiție de echilibru în care potențialul de membrană devine destul de puternic pentru a contrabalansa tendința de ieșire a  $K^+$  și de a scădea gradientul său de concentrație.

Aceasta este starea în care gradientul electrochimic pentru  $K^+$  este zero, chiar dacă concentrația  $K^+$  din interiorul celulei este mai mare decât în exterior.

### Potențialul de repaus

Potențialul membranal de repaus este potențialul de membrană în care fluxul transmembranar al ionilor negativi și pozitivi se află într-un echilibru perfect care nu mai permite nici o acumulare diferențiată de încărcare transmembranară.



Potențialul membranar este reprezentat de diferența de voltaj dintre cele două fețe ale membranei.

La celulele animale, potențialul membranar de repaus variază între -20 și -200 milivolți (mV), după organism și tipul de celulă. El este exprimat sub forma unei valori negative din cauză că interiorul celulei este negativ față de exterior, iar sarcinile negative intracelulare sunt într-un ușor exces față de cele pozitive. Valoarea reală a potențialului membranar de repaus reflectă gradientul de concentrație transversal față de membrana plasmatică, deoarece, în repaus această membrană este permeabilă îndeosebi la  $K^+$  iar  $K^+$  este principalul ion pozitiv din interiorul celulei. Ecuația lui Nernst exprimă în mod cantitativ echilibrul iar atunci când este cunoscută proporția internă și externă a concentrației ionice, face posibilă calcularea teoretică a potențialului membranar de repaus.

Soma unui neuron motor mare din coarnele anterioare ale măduvei are un potențial membranar de repaus de circa -65mV. La nivelul fibrelor nervoase mari periferice și în fibrele musculare valoarea este de -90mV. Apoi, de o parte și de cealaltă a membranei somei neuronale există diferențe de concentrație între cei trei ioni de importanță maximă pentru funcția neuronală: ionii de sodiu, de potasiu și de clor.

Ionul de sodiu are o concentrație foarte mare în fluidul extracelular și foarte mică în interiorul neuronului. Acest gradient de concentrație se datorează unei pompe puternice de sodiu care pompează continuu sodiul în afara neuronului.

Concentrația ionilor de potasiu este mare în interiorul celulei și foarte scăzută în fluidul extracelular. Pompa de potasiu pompează potasiul către interior. Totuși ionii de potasiu se scurg prin canalele ionice membranare într-un ritm suficient pentru a anula eficiența pompei de potasiu.

Ionii de clor au o concentrație mai mare în fluidul extracelular și scăzută în interiorul neuronului. Membrana, slab permeabilă pentru ionii de clor, conține o pompă slabă. Totuși, voltajul negativ (-65 milivolți) din neuron respinge ionii de clor încărcăți negativ, forțându-i să iasă prin pori până când concentrația lor extracelulară ajunge mult mai mare decât în interior.

Existența unui potențial electric de o parte și de cealaltă a membranei se poate opune mișcării ionilor prin membrană, în ciuda diferenței lor de concentrație între exteriorul și interiorul membranei, dacă potențialul are polaritate și intensitate potrivite. Un asemenea potențial care se opune exact mișcării fiecărui tip de ion se numește potențialul Nernst pentru acel ion.

El este descris în următoarea ecuație:

$$FEM(mV) = \pm 61 \times \log (C_{ext}/C_{int})$$

unde FEM este potențialul Nernst exprimat în milivolți la interiorul membranei,  $C_{ext}$  și  $C_{int}$  reprezintă concentrația ionilor la exterior, respectiv interior. Potențialul va fi pozitiv (+) pentru un ion pozitiv și negativ (-) pentru un ion negativ.

Pentru sodiu, la o diferență de concentrație între 142mEq/l la exterior și 14mEq/l la interior, potențialul de membrană care va anula mișcarea ionilor prin canalele de sodiu ar fi de +61mV. Totuși, potențialul real al membranei este de -65mV, și nu de +61mV.

De aceea, în mod normal, ionii de sodiu ar trebui să difuzeze prin canalele de sodiu spre interior, dar foarte puțini ioni urmează această cale, deoarece în mod normal canalele de sodiu sunt închise.



În plus, ionii de sodiu care difuzează totuși spre interior sunt imediat pompați înapoi afară de către pompa de sodiu (Guyton, 1997).

Pentru potasiu, gradientul de concentrație este între 120mEq/l la interior și 4,5mEq/l la exterior.

Potențialul Nernst va fi de -86mV la interiorul membranei, deci o negativitate mai accentuată decât cea existentă, de -65mV. Prin urmare, ionii de potasiu vor avea tendința să difuzeze în afara neuronului, fapt contracarat de pomparea lor continuă spre interior (Guyton, 1997). Diferența concentrației ionilor de clor între 107mEq/l în afară și 8 mEq/l la interior determină un potențial Nernst de -70 mV la interiorul neuronului. Prin urmare, clorul tinde să difuzeze spre interior, în timp ce anionii care pătrund sunt scoși în exterior prin acțiunea unei pompe active de clor.

Aceste trei potențiale Nernst, precum și tendința de difuziune a fiecărui ion ajută la înțelegerea excitației și inhibării neuronului prin activarea sinaptică a receptorilor de tip canal ionic.

Prin urmare, orice schimbare survenită în permeabilitatea membranei față de ionii specifici, adică orice modificare a numărului canalelor ionice care sunt deschise, modifică potențialul membranal. Potențialul membranal este determinat de ambele stări ale canalelor ionice și de concentrația ionilor din citozol și din mediul extracelular.

Procese electrice de la nivelul membranei plasmatice apar foarte rapid în comparație cu modificarea concentrației ionice (milisecunde, secunde sau minute) datorită controlului extrem de important pe care îl au canalele ionice asupra potențialului membranal.

Rezultă deci că potențialul de repaus al somei neuronale de -65 mV are drept cauză primară pompa de sodiu-potasiu care mobilizează mai mulți ioni pozitivi de sodiu spre exterior și mai puțini ioni pozitivi de potasiu spre interior (trei ioni de  $\text{Na}^+$  pentru unul de  $\text{K}^+$ ). Deoarece în celulă există un mare număr de sarcini negative ce nu pot difuza prin membrană (anioni proteici, fosfați, etc) mobilizarea unui exces de sarcini pozitive spre exterior lasă o bună parte din aceste sarcini negative nedifuzabile neneutralizate. Deci, interiorul neuronului devine încărcat negativ grație pompei de sodiu-potasiu.

Pentru a vedea modul în care potențialul membranal și canalele ionice sunt utilizate în semnalizarea electrică ne vom deplasa din sfera comportării ionilor și a canalelor în domeniul comportamentului întregii celule. Ca prim exemplu vom lua o celulă nervoasă prin faptul că aceasta, mai mult decât alte tipuri de celule, face o profesiune din semnalizarea electrică și utilizează canalele ionice în cele mai sofisticate feluri (Alberts și colab. 1998).

## Neuronul și semnalizarea

Sarcina fundamentală a neuronului este aceea de a primi, conduce și transmite semnalele. Celula nervoasă (neuronul) transportă semnalele de la organele de simț la sistemul nervos central format din creier și măduva spinării. În sistemul nervos central (SNC), neuronii comunică unii cu alții printr-o rețea enorm de

complexă care analizează, interpretează și răspunde la semnalele care sosesc de la organele de simț.

De la nivelul SNC neuronii transmit datele prelucrate în afară în scopul efectuării unor acțiuni glandulare sau musculare. Pentru realizarea acestor funcții neuronii trebuie să aibă uneori o lungime extrem de mare. La om, neuronii motori care transportă semnalele de la măduva spinării până la mușchii picioarelor au până la un metru lungime.

Fiecare neuron are un corp celular cu nucleu și un număr de prelungiri lungi și subțiri care radiază în afara lui. Acestea sunt formate dintr-un axon lung care transportă semnalele la distanță de corpul celular către celula țintă distală și din numeroase ramuri mai scurte numite dendrite care pleacă din corpul celular ca antenele. Ele primesc semnale de la ariile întinse ale axonilor altor neuroni. De obicei, capătul distal al axonului are ramuri multiple, fiecare reprezentând un terminal nervos prin care mesajul neuronului ajunge simultan la mai multe celule țintă care pot fi alți neuroni, celule musculare sau glandulare.

Și ramurile dendritice pot fi extensive astfel încât uneori, un singur neuron poate primi peste 100.000 de inputuri.

Prin urmare, axonul care este unic transportă semnalele la distanță de corpul celular, în timp ce arborele dendritic primește semnale de la axonii altor neuroni.

Indiferent de felul semnalului transportat de neuron (informație vizuală, comandă motorie către mușchi sau un pas în analiza cerebrală a semnalului) forma acestuia este totdeauna aceeași. El constă în modificarea potențialului electric care traversează membrana plasmatică a neuronului.

## Potențialul de acțiune

Un neuron este stimulat de către un semnal (tipic de către alt neuron) transmis într-un anumit loc de pe suprafața sa. Acest semnal inițiază la locul respectiv o modificare a potențialului membranar.

Pentru transmiterea semnalului mai departe este necesar ca potențialul de membrană modificat să treacă acest punct reprezentat de obicei de o dendrită sau de corpul celulei la terminalul axonic care îl transmite la celula următoare. Deși modificarea locală a potențialului membranar se răspândește pasiv de-a lungul unei dendrite sau a axonului adiacent regiunii membranare plasmatică, el slăbește rapid odată cu creșterea distanței față de sursă.

Pentru distanțe mici această diminuare este neimportantă dar pentru o comunicare pe distanță lungă această răspândire pasivă devine inadecvată. Același lucru se întâmplă și cu semnalul telefonic ce poate fi transmis prin fir la distanțe scurte fără amplificare, dar pentru transmiterea transoceanică prin cablu submarin semnalul trebuie amplificat la diferite intervale (Alberts și colab 1998).

Neuronii rezolvă această problemă prin utilizarea mecanismului activ de semnalizare. Astfel, un stimul electric suficient de puternic declanșează în membrana plasmatică o explozie de activitate electrică care este propagată rapid de-a lungul membranei axonului, susținută de către reântăririle automate situate pe traseul căii respective. Această mișcare a undei de excitație electrică,

cunoscută sub numele de potențial de acțiune, sau de impuls nervos, poate transmite un mesaj de la capătul unui neuron la altul, cu o viteză de peste 100 metri pe secundă, fără slăbirea mesajului. Din studiile efectuate s-a dedus că potențialul de acțiune reprezintă consecința directă a proprietăților canalelor ionice cu poartă voltată din membrana celulei nervoase.

Acțiunea potențialului dintr-un neuron este declanșată de depolarizarea locală bruscă a membranei plasmatică, adică de deplasarea potențialului membranelor către o valoare mai puțin negativă. Un stimul care provoacă o depolarizare suficient de mare pentru a depăși o anumită valoare prag produce la locul respectiv deschiderea temporară a canalelor de  $\text{Na}^+$  cu poartă voltată. Acestea permit intrarea în celulă a unei mici cantități de  $\text{Na}^+$  scăzându-I gradientul său electrochimic. Influxul de sarcini pozitive depolarizează în continuare membrana făcând potențialul membranelor mai puțin negativ.

Acest fapt duce la deschiderea mai multor canale de  $\text{Na}^+$  cu poartă voltată și la intrarea mai multor ioni care cauzează depolarizarea în continuare a membranei. Acest proces se autoamplifică până când, în timp de o milisecundă, potențialul membranelor dintr-o anumită regiune a membranei ajunge, de la valoarea sa de repaus de circa  $-60\text{mV}$ , la valoarea de aproximativ  $+40\text{mV}$ . Prin urmare, potențialul membranelor trece prin punctul zero și ajunge la  $+40$  milivoli după care acesta revine la valoarea negativă de repaus adică la acțiunea potențială terminală când în membrană nu mai este deschis nici un canal ionic cu poartă voltată. Prin urmare, canalele se închid atunci când forța de atracție electrochimică transmembranară a  $\text{Na}^+$  ajunge la zero.

Canalele de  $\text{Na}^+$  au un mecanism automat de inactivare care le face să adopte rapid, într-o milisecundă, o conformație inactivă specială care face imposibilă redeschiderea lor. Deși membrana este încă depolarizată, canalele de  $\text{Na}^+$  rămân în această stare inactivă timp de câteva milisecunde.

Prin urmare, canalele de  $\text{Na}^+$  cu poartă voltată adoptă cel puțin trei conformații care depind de potențialul de membrană. Când membrana este în repaus (întal polarizată) întâlnim conformația sau starea stabilă închisă. Când membrana este depolarizată apare conformația deschisă care de asemenea este stabilă. După perioada scurtă de deschidere, canalele devin inactive și nu se mai pot deschide.

Membrana este de asemenea ajutată să revină la valoarea sa de repaus prin deschiderea canalelor de  $\text{K}^+$  cu poartă voltată. Ele se deschid tot ca răspuns la depolarizarea membranei dar nu atât de prompt ca cele de  $\text{Na}^+$  și rămân deschise atâta timp cât membrana este depolarizată. Când acțiunea potențială ajunge la punctul maxim, ionii de  $\text{K}^+$  care transportă sarcini pozitive încep să iasă în afara celulei prin canalele de  $\text{K}^+$  scăzând astfel gradientul lor electrochimic nestingherit de potențialul membranelor negativ care îi reține în celula aflată în repaus. Scurgerea rapidă în afară a  $\text{K}^+$  prin canalele de  $\text{K}^+$  cu poartă voltată aduc membrana înapoi în starea sa de repaus mai repede decât prin activarea obținută de ieșirea  $\text{K}^+$  numai prin canalele sale de scurgere.

Descrierea făcută s-a referit la un potențial de acțiune legat de o mică porțiune a membranei plasmatică. Autoamplificarea depolarizării porțiunii respective este suficientă pentru depolarizarea regiunii din vecinătatea membranei care continuă apoi prin același ciclu de autoamplificare. În acest mod potențialul



de acțiune se răspândește sub forma unei unde de la nivelul depolarizării inițiale până la extremitatea axonului.

Ulterior, este necesară refacerea gradientelor de concentrație ale sodiului și potasiului, cu ajutorul pompei  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ . Astfel, ionii de sodiu care au difuzat la interior și ionii de potasiu care au difuzat la exterior sunt returnați de către pompa  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  în compartimentele lor originale.

Deoarece travaliul pompei necesită energie, activitatea de "reîncărcare" a fibrei nervoase reprezintă un proces metabolic activ, care consumă din rezervele de ATP ale celulei.

În interiorul celulei se află numeroase sarcini negative (molecule proteice, numeroși compuși organici ai fosforului, sulfului și alții) care nu difuzează prin membrană și care nu pot părăsi celula (Fig. 3). Orice deficit în ioni pozitivi la interior va lăsa un exces de ioni negativi care nu pot traversa membrana celulară. Din această cauză, interiorul membranei devine negativ atunci când din celulă ies ioni de potasiu sau sunt expulzați ioni de sodiu (Fig. 4).

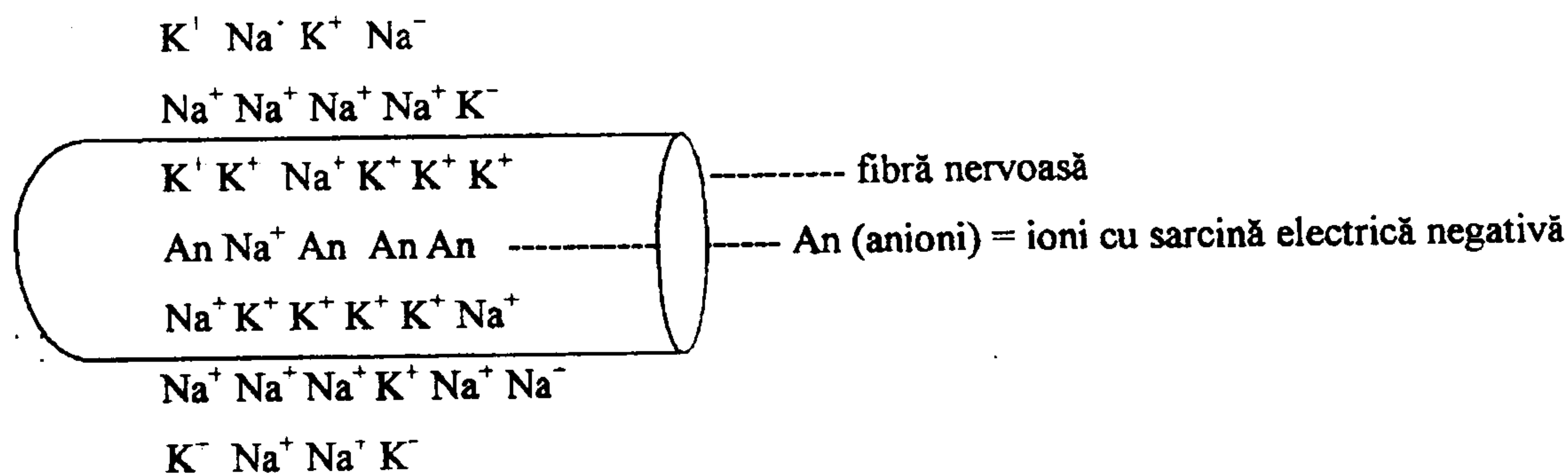


Fig. 3. Fibră nervoasă în repaus polarizată ca rezultat al distribuției inegale a ionilor de cele două părți ale membranei sale.

### Pompa $\text{Na}^+ - \text{K}^+$

Pompa  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  nu este altceva decât o membrană proteică integrală, constituită dintr-un complex multimeric formată din două polipeptide: o subunitate catalitică transmembranară ( $\alpha$ ), și o subunitate glicoproteică reglatoare ( $\beta$ ). Structura probabilă a holoenzimei este  $\alpha_2 \beta_2$ , cu o greutate moleculară de 270.000.

Subunitatea catalitică are pe suprafața intracelulară locuri de legătură atât pentru  $\text{Na}^+$  și ATP cât și pentru  $\text{K}^+$  și uabaină, toxină care inhibă în mod ireversibil și specific pompa de pe suprafața extracelulară.

ATP-ul transferă grupul său fosfat terminal pe subunitatea catalitică (E) cu care formează un intermediar covalent (E-P) la nivelul rezidului acidului  $\beta$ -aspartic specific. Reacția depinde de prezența ionilor de  $\text{Na}^+$ .

Fosforilarea proteică schimbă configurația complexului, fapt care duce la deplasarea a trei ioni de  $\text{Na}^+$  din interiorul celulei către exterior, în schimbul a doi

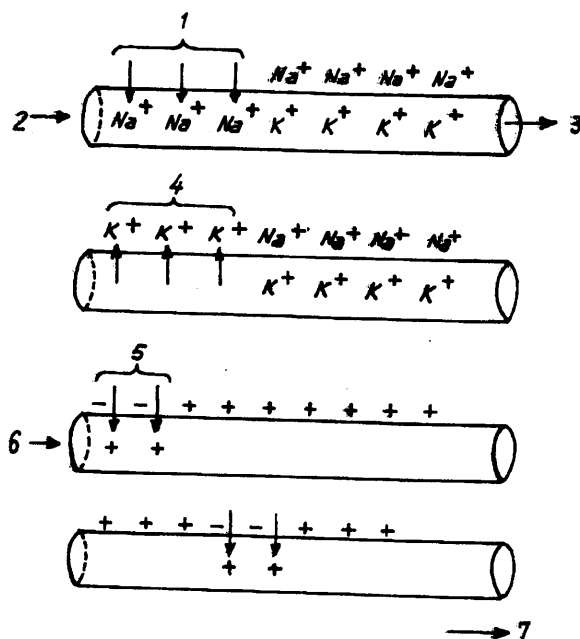


Fig. 4. Mecanismul de producere a influxului nervos

1. Regiune depolarizată; 2. Stimul; 3. Fibră nervoasă; 4. Regiune repolarizată;  
5. Regiunea acțiunii potențialului; 6. Aplicarea stimulului; 7. Direcția impulsului nervos.

ioni de  $\text{K}^+$  extracelulari. Astfel, subunitatea catalitică fosforilată este hidrolizată în prezența ionilor de  $\text{K}^+$ . Prin urmare, întreaga reacție se produce ca rezultat al hidrolizei ATP.

Când celula este în repaus, fluxurile activ (efectuat de pompă) și pasiv (prin difuziune) de  $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$  sunt în echilibru, astfel încât fluxul net al acestor doi ioni este zero. În felul acesta, deși potențialul de repaus al celulei nu este în echilibru, el se află totuși într-o stare fixă. Pentru menținerea gradientului ionic transmembranar este nevoie de o anumită energie metabolică. Deoarece pompa elimină trei ioni de  $\text{Na}^+$  și introduce doi ioni de  $\text{K}^+$ , se spune că este electrogenică. Acest flux către exterior a sarcinilor pozitive tinde a hiperpolariza membrana.

Cu cât hiperpolarizarea este mai mare, cu atât mai mare este forța electrochimică internă care atrage  $\text{Na}^+$  din afară. Astfel,  $\text{Na}^+$  circulant și  $\text{K}^+$  circulant care rezultă din difuziunea pasivă nu se află prea mult timp în echilibru din cauza curentului către interior prin canale necontrolate.

La starea stabilă (fixă) a celulei se ajunge atunci când este atins potențialul de membrană prin pătrunderea pasivă în interior a curentului prin canalele ionice care contrabalansează curentul extern activ, dirijat de pompă. Această balanță este atinsă când pentru cei trei ioni de  $\text{Na}^+$  care difuzează în interior sunt trimiși în afară doi ioni de  $\text{K}^+$ . Când se ajunge la această condiție, fluxul activ și pasiv de  $\text{Na}^+$  devine egal dar opus fluxului de  $\text{K}^+$ , astfel încât gradientul de concentrație



pentru  $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$  rămâne constant. Potențialul de repaus al unei celule cu pompă electrogenică este cu câțiva milivolți mai negativ decât ne-am așteptat de la difuziunea pur pasivă a ionilor. Prin urmare, când celula este în repaus, fluxurile pasive de  $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$  în interiorul și în afara celulei sunt echilibrate de direcția activă a transportului în direcții opuse de către pompa  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  dependentă de ATP.

Pompa  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  și balanța osmotică. Celulele corpului omenesc sunt scăldate de lichide bogate în soluții ce conțin în special  $\text{Na}^+$  și  $\text{Cl}^-$ . Acestea contrabalansează concentrația soluțiilor organice și anorganice din interiorul celulei prevenind astfel dezastrul osmotic. Totuși, balanța osmotică poate fi oricând dezechilibrată de soluțiile externe care se scurg în celulă scăzându-le în acest fel gradientul electrochimic individual. Pentru menținerea echilibrului osmotic celulele pompează continuu spre exterior soluțiile nedorite. Această funcție este efectuată de pompa  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  care pompează  $\text{Na}^+$  în exterior (Fig. 5).

Pentru a menține potențialul de membrană pompa  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  împiedică intrarea  $\text{Cl}^-$  cu încărcătura sa negativă. În cazul în care pompa este oprită cu un inhibitor ca de pildă, ouabaina sau dacă celula are o cantitate insuficientă de ATP pentru a menține funcționalitatea pompei, ionii de  $\text{Na}^+$  și  $\text{Cl}^-$  intră printre căraușii proteici și deschid canalele ionice. În această situație, balanța osmotică se tulbură iar celulele se umflă și explodează (Alberts și colab. 1998).

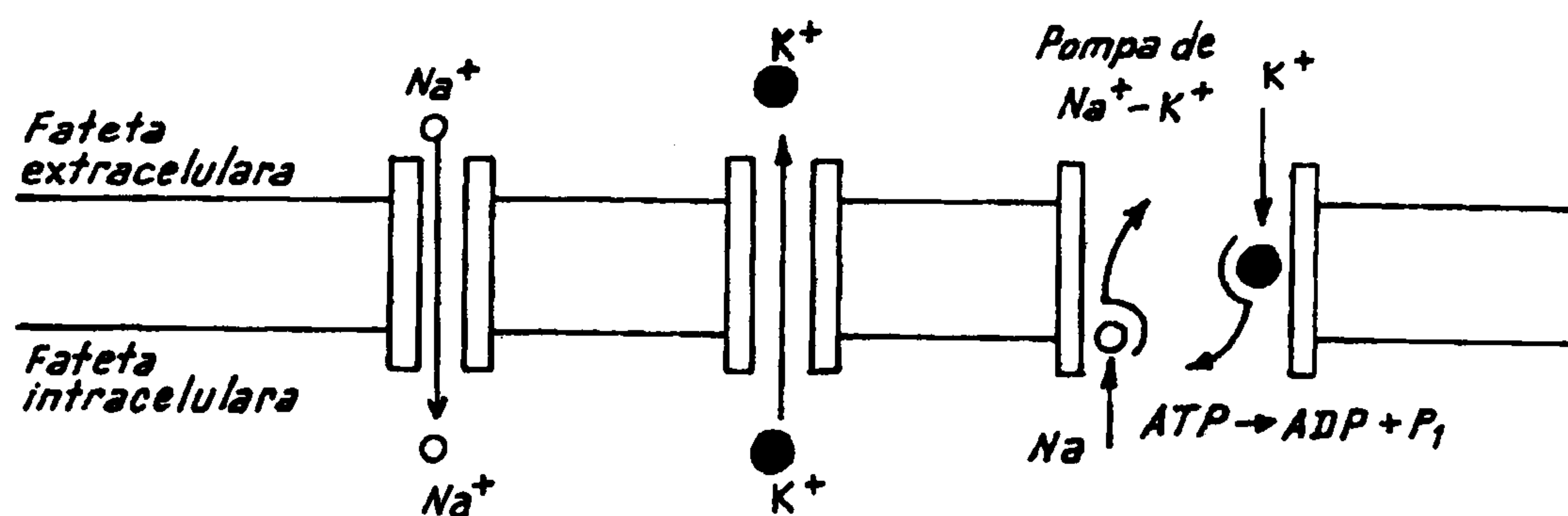


Fig 5. Mecanismul activ de transport al  $\text{Na}^+$  intracelular și al  $\text{K}^+$  extracelular este dependent de pompa  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  și de ATP.

### Contribuția ionilor de calciu

$\text{Ca}^{2+}$ , ca și  $\text{Na}^+$ , este menținut într-o concentrație scăzută în citozol. Deplasarea  $\text{Ca}^{2+}$  prin membrana celulară are o importanță crucială deoarece  $\text{Ca}^{2+}$  poate stabili legături strânse cu multe alte molecule intracelulare, alterând astfel activitatea lor.

Influxul  $\text{Ca}^{2+}$  în citozol prin canalele de  $\text{Ca}^{2+}$  este utilizat adesea ca semnal pentru declanșarea altor evenimente intracelulare, cum ar fi secreția moleculelor semnalizatoare și contracția celulelor musculare.

Cu cât este mai scăzută concentrația  $\text{Ca}^{2+}$  liber din citozol, cu atât celula devine mai sensibilă la creșterea  $\text{Ca}^{2+}$  citozolic. Astfel, celulele eucariote mențin o concentrație de  $\text{Ca}^{2+}$  liber foarte scăzută în citozolul lor (aproximativ  $10^{-7}$  M) în

timp ce concentrația  $\text{Ca}^{2+}$  extracelular este mult mai mare (1-2 mM). Această situație se realizează cu ajutorul pompei de  $\text{Ca}^{2+}$  dirijată de ATP-ul de la nivelul membranei plasmatică și din membrana reticulum-ului endoplasmic care pompează în mod activ  $\text{Ca}^{2+}$  în afara citozolului.

Ca și pompa  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ , pompa  $\text{Ca}^{2+}$  reprezintă o ATP-ază care este fosforilată și defosforilată în timpul ciclului său de pompare. Se presupune că ea acționează în același mod ca pompa de  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  cu excepția revenirii sale la conformația originală fără a lega sau transporta un al doilea ion. Cele două pompe dirijate de ATP au structuri și secvențe aminoacide. Ele sunt similare cu aproximativ 10 membrane cheie din helixul a al fiecărei subunități având probabil o origine evolutivă comună (Alberts și colab. 1998).

**Canale de calciu dependente de voltaj.** Acestea sunt canale cu activare foarte lentă necesitând un timp de activare de 10-20 ori mai lung în comparație cu cel al canalului de sodiu.

Când un potențial de acțiune ajunge la capătul axonului (terminal nervos) semnalul trebuie transmis celulei țintă contactată de terminalul nervos, care poate fi un neuron sau altă celulă nervoasă.

Semnalul ajunge în locuri speciale de contact denumite sinapse. Majoritatea sinapselor sunt formate din membranele plasmatică ale celulelor transmițătoare și receptoare (celulele pre- și postsinaptice) și dintr-un spațiu îngust (fanta sinaptică al cărei diametru transversal este de 20nm) care le separă și care nu poate fi traversat de semnalul electric. Pentru ca mesajul să fie transmis de la un neuron la altul este necesar ca semnalele electrice să fie convertite în semnale chimice cu ajutorul moleculelor semnalizatoare mici, denumite neurotransmițători. Neurotransmițătorii sunt stocați la nivelul terminațiilor nervoase în vezicule sinaptice. Ei sunt eliberați prin exocitoză numai atunci când la nivelul terminalelor nervoase ajunge un potențial de acțiune.

Legătura dintre potențialul de acțiune și secreție implică activarea unor alte canale cationice cu poartă voltată.

Depolarizarea membranei nervoase plasmatică terminale cauzată de potențialele de acțiune deschide temporar canalele de  $\text{Ca}^{2+}$  cu poartă voltată concentrate în membrana terminalului nervos. Deoarece concentrația  $\text{Ca}^{2+}$  din afara celulei este de peste 1000 de ori mai mare decât concentrația  $\text{Ca}^{2+}$  din citozol, acesta pătrunde rapid în terminalul nervos prin canalele deschise.

Creșterea concentrației  $\text{Ca}^{2+}$  din citozolul terminalului nervos declanșează fuziunea veziculelor sinaptice cu membrana plasmatică și eliberarea neurotransmițătorului în fanta sinaptică.

Datorită canalelor de  $\text{Ca}^{2+}$  cu poartă voltată, semnalul electric este acum convertit în semnal chimic (Alberts și colab. 1998).

### Contribuția ionilor de $\text{Cl}^-$

Chiar dacă celulele nervoase au canale de  $\text{Cl}^-$  nedirijate, contribuția  $\text{Cl}^-$  la generarea potențialului de repaus nu trebuie neglijată.



La celulele fără pompă de  $\text{Cl}^-$ , concentrația intracelulară a  $\text{Cl}^-$  este dependentă de fluxul  $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$  și de pompa acestora.

Concentrația clorului din interiorul celulei poate fi modificată ușor, deoarece el este acționat de forțe pasive (potențialul electric și gradientul de concentrație).

În celulele fără nici o pompă de  $\text{Cl}^-$  concentrația intra și extracelulară de  $\text{Cl}^-$  trebuie să fie echilibrată și menținută la o anumită valoare.

La celulele nervoase care au pompă de  $\text{Cl}^-$ , transportul activ este direcționat către exterior, astfel încât raportul dintre cele două tipuri de  $\text{Cl}^-$  este mai mare decât rata care rezultă din difuziunea pasivă.

Potențialul de repaus reprezintă linia de bază față de care sunt exprimate toate celelalte semnale. Acestea apar ca rezultat al perturbării membranei și deci a producerii potențialelor de membrană care pot fi mai mari sau mai mici față de potențialul de repaus. Creșterea potențialului membranar, de la -65 la -75 mV poartă denumirea de hiperpolarizare iar reducerea potențialului membranar de la -65 la +55 mV, poartă denumirea de depolarizare.

Hiperpolarizarea scade abilitatea celulei de a genera o acțiune potențială (conducerea semnalului de-a lungul axonului), fiind prin urmare inhibitoare, iar depolarizarea mărește abilitatea celulei de a genera semnale transmisibile, fiind excitatoare.

### **Inhibiția postsinaptică**

Fenomenele electrice din cursul inhibiției neuronale sunt diferite de cele ale excitației. Sinapsele inhibitoare deschid canalele de potasiu sau de clor în locul celor de sodiu, permițând trecerea cu ușurință a acestor ioni. Potențialul Nernst pentru potasiu este de -86mV iar cel pentru clor este de -70mV, ambele fiind mai negative decât cei -65mV prezenți în interiorul membranei neuronale în repaus. Deschiderea canalelor de potasiu și ieșirea acestuia din celulă accentuează negativitatea membranei. Deschiderea canalelor de clor și pătrunderea acestor sarcini negative în celulă face potențialul membranar mai negativ.

Această creștere a gradului de negativitate intracelulară se numește hiperpolarizare. În acest context, neuronul este inhibat deoarece potențialul de membrană se află acum mai departe de potențialul prag de excitabilitate. Această creștere a negativității peste nivelul potențialului membranar de repaus normal se numește potențial postsinaptic inhibitor.

### **Inhibiția presinaptică**

Și în terminațiile presinaptice se poate produce uneori un tip de inhibiție, înainte ca semnalele să ajungă la nivelul sinapsei. Această inhibiție presinaptică se datorează unor sinapse "presinaptice" aflate pe fibra nervoasă terminală înainte de contactul său cu neuronul următor (Guyton, 1997). Activarea acestor sinapse ar reduce capacitatea de deschidere a canalelor de calciu ale terminației și deci excitația neuronală. Se presupune că în astfel de situații, sinapsele presinaptice ar elibera un mediator care blochează canalele de calciu.

Conform altei teorii, mediatorul ar inhiba deschiderea canalelor de sodiu, micșorând potențialul de acțiune al terminației. Cum canalele de calciu, activate de voltaj, sunt extrem de sensibile la diferența de potențial, orice scădere a potențialului de acțiune reduce serios intrarea calciului. În acest mod, fibrele nervoase adiacente se inhibă reciproc, diminuând astfel împrăștierea semnalului de la o fibră la alta.

## Codificarea informației

Informația din orice sistem nervos este incorporată și codificată în întregime prin frecvența și patternul impulsurilor nervoase.

Sistemele senzoriale și motorii, percepția, memoria, cogniția, gândirea, emoția, personalitatea, etc. sunt reprezentate fiecare de anumite patternuri, impulsuri nervoase și de structuri proprii ale SNC. Acest fapt poate fi demonstrat cu ajutorul electrozilor implantați în neuroni singolari sau în grupe de neuroni cerebrali, cărora le aplicăm un curent electric foarte slab. Astfel, după efectuarea anesteziei locale și a unui orificiu cranian, electrozii pot fi introduși în creierul diferiților pacienți.

Când curenții stimulatori se situează în limitele parametrilor activității fiziologice a SN, atunci putem obține mimarea funcției normale a unei suprafețe cerebrale. Dat fiind faptul că se acționează pe pacienții conștienți, aceștia pot relata în mod veridic experiența subiectivă pe care o resimt. De-a lungul anilor s-a demonstrat că prin stimularea electrică a unei anumite zone cerebrale pot fi reproduse senzații vizuale, senzații auditive, vocalizări automate, senzații de discomfort sau euforie, episoade de agresiune, reamintiri, mișcări de membre sau grupuri individuale de mușchi, tahicardie, bradicardie, creșterea sau scăderea presiunii sanguine, etc.

Din cercetările efectuate rezultă că noi posedăm un creier cu o complexitate inimaginabilă. Fiecare aspect comportamental sau stare fizică își are esența în patternurile potențialelor de acțiune.

## Impulsul nervos

După ipoteza ionică dezvoltată de Hodgkin și Huxley (1952), potențialul de acțiune este produs de mișcarea ionilor care traversează membrana prin canale volante. Astfel, potențialul de acțiune dintr-o anumită regiune a fibrei nervoase permite propagarea curentului electric către porțiunile adiacente ale membranei. Acest curent local stimulează membrana până la apariția unui nivel prag, după care apar alte acțiuni potențiale. Acestea, la rândul lor stimulează alte regiuni favorizând propagarea unde la distanță de punctul de stimulare către capătul fibrei. Această propagare a potențialului de acțiune sau depolarizării de-a lungul fibrei nervoase sau musculare poartă denumirea de impuls nervos sau impuls muscular.

Plasarea pe membrană a unui electrod înregistrator format dintr-un fir subțire duce la evidențierea acestui impuls, sub forma unei activități electrice. Acesta este impulsul nervos. Potențialele de acțiune care apar prin stimulări succesive sunt înregistrate ca secvențe de impulsuri nervoase.



**Conducerea impulsului.** Un trunchi nervos tipic este format din câteva fibre nervoase foarte groase, ce ocupă cea mai mare parte a secțiunii sale transversale și dintr-un număr dublu de fibre subțiri dispuse printre cele groase. Fibrele groase sunt mielinice iar cele subțiri amielinice. Miezul central al fibrei este axonul, iar membrana axonului este aceea care conduce în mod efectiv. Axonul este umplut cu un lichid intracelular vâcos numit axoplasmă. Teaca de mielină este dispusă în jurul axonului de către celulele Schwann. Membrana unei celule Schwann învelește mai întâi axonul, după care se rotește în jurul acestuia înfășurându-l în mai multe straturi concentrice de membrane celulare, bogate în sfingomielină. Această substanță lipidică este un excelent izolator, care diminuează fluxul ionic prin membrană de peste 5000 de ori.

Fibrele nervoase nemielinizate conduc impulsul pe întreaga lor suprafață. O fibră mielinizată funcționează diferit, deoarece mielina servește ca izolator al întregului flux de ioni care trece prin membrană. Aceasta înseamnă că teaca de mielină, care adesea este mai groasă decât axonul însuși, împiedică pe deplin conducerea impulsului nervos, fapt care ar putea fi adevărat dacă teaca ar fi continuă. Totuși, ea este întreruptă la intervale de 1 și 3mm de strangulațiile nodurilor lui Ranvier cu o lungime de 2-3 micrometri, care apar între celulele Schwann adiacente. La nivelul acestor strangulații, ionii pot difuza cu ușurință între lichidul extracelular și axon.

Prin urmare, ionii, în special cei de sodiu și potasiu, care traversează cu mare ușurință zona nodurilor lui Ranvier, dau naștere potențialelor de acțiune.

Aceste potențiale de acțiune sunt conduse din nod în nod formând așa numita conducere saltatorie. Curentul electric curge din nod în nod atât prin lichidul extracelular cât și prin axoplasmă, excitând succesiv nodurile, unul după altul. Conducerea saltatorie are o dublă importanță. În primul rând, salturile potențialului de acțiune în lungul fibrei au drept consecință o creștere a vitezei de conducere a impulsului nervos prin fibrele mielinice de 5 până la 50 de ori față de fibrele amielinice. În al doilea rând, conducerea saltatorie este foarte economică; ea conservă energia axonului, deoarece depolarizarea se petrece numai la nivelul nodului, permițând pierderi ionice probabil de o sută de ori mai mici decât în alte condiții, și, în consecință cheltuielile metabolice pentru refacerea gradientelor ionice vor fi și ele cu mult mai mici (Guyton, 1997).

Fiecare parte a membranei traversată de un impuls nervos rămâne inactivă o perioadă de circa 4 milisecunde. Astfel, rata de maximă transmitere a impulsurilor (frecvența) este de aproximativ 250/sec.

Prin urmare, proprietățile cruciale ale conducției impulsurilor sunt : frecvența și timpul trenurilor de impulsuri.

Viteza de conducere poate fi calculată după distanța dintre punctele de aplicare și culegere prin care trece potențialul de acțiune și timpul afectat acestuia. Viteza de conducere în fibrele nervoase variază de la 0,5 m/s în fibrele amielinice cele mai subțiri, la 170 m/s, în fibrele mielinice foarte groase. Rezistența la conducere pentru curentul electric scade cu pătratul diametrului intern al fibrei. Diametrul fibrelor nervoase variază între 0.3 și 22  $\mu$ .

În funcție de diametru, fibrele nervoase sunt de tip A,B și C.

Fibrele A, cu diametrul de 1 - 22  $\mu$ , sunt fibre somatice aferente și eferente care conduc cu o viteză de 5 - 120 m/s.

Fibrele B, mielinizate, sunt fibre vegetative eferente preganglionare, cu diametrul de 1 - 3  $\mu$ ; viteza de conducere a acestora fiind de 3 - 15 m/s.

Fibrele C, nemielinizate, sunt fibre vegetative aferente sau eferente postganglionare; ele au un diametru de 0,3 - 1,3  $\mu$  și conduc cu viteză de 0,5 - 2 m/s.

Fibrele pentru durere cu diametrul de 1  $\mu$  au o conducere de 1 m/s, iar cele aferente fusurilor musculare, cu diametru de 13  $\mu$ , au o viteză de conducere de 75 m/s. Fibrele pentru sensibilitatea profundă au un diametru de 3  $\mu$  și o viteză de conducere de 11 m/s. O tăietură de piele provoacă mai întâi senzația de atingere și apoi senzație dureroasă.

Atingerea și tactul se transmit prin fibre cu mielină mai multă, pe când fibrele care transmit durerea au mielină puțină sau sunt amielinice, deci cu diametrul mai mic.

Nervii micști periferici (exemplu sciaticul) care inervează musculatura și pielea membrului inferior conțin toate aceste categorii de fibre nervoase. Propagarea excitației printr-un astfel de nerv se face cu viteze diferite. Prin înregistrarea potențialelor de acțiune al acestui nerv mixt, la o anumită distanță de locul stimulării, se obține întâi potențialul de acțiune al fibrelor celor mai rapide și apoi succesiv și al celorlalte fibre mai lente. Astfel, la o distanță, de 1 m de locul stimulării, unele potențiale apar după 13,3 ms, altele după 18,2 ms, unele după 90,9 ms, iar altele chiar după 1000 ms.

### Principiul tot-sau nimic

Apariția potențialului de acțiune, indiferent în care punct al membranei, duce în condiții normale la răspândirea procesului de depolarizare pe toată suprafața membranei. Dacă aceste condiții lipsesc, el nu se răspândește deloc. Acesta reprezintă principiul totul. Cu alte cuvinte, dacă o fibră nervoasă răspunde, răspunsul ei este complet. Astfel, impulsul nervos apare când pe fibra nervoasă se aplică un stimul prag sau mai mare, iar impulsurile care trec prin acea fibră vor avea aceeași putere. Aplicarea pe o fibră nervoasă a unui stimul cu intensitate mai mare nu produce un impuls mai puternic. Aceasta înseamnă că stimulii sub prag nu pot produce semnale, în timp ce stimulii care depășesc pragul produc același semnal - amplitudinea și durata semnalului sunt totdeauna aceleași indiferent de variațiile stimulilor. Intensitatea unei senzații sau viteza unei mișcări nu este determinată de magnitudinea sau durata potențial de acțiune ci de frecvența lui. La rândul său durata unei senzații sau mișcări este determinată de durata în care sunt generate potențialele de acțiune. Totuși, critice pentru stimularea neuronului sunt două caracteristici: numărul potențialelor de acțiune și intervalul de timp dintre ele.

Specificitatea sau semnificația unui semnal este determinată în întregime de calea neuronală activată de stimul. Astfel, căile activate de celulele fotoreceptoare



care răspund la lumină sunt complet diferite de cele activate de celulele senzoriale care răspund la atingere. Prin urmare, semnificația unui semnal vizual sau tactil, senzorial sau motor este determinată nu de felul semnalului, ci de calea specifică de-a lungul căreia circulă.

Unele substanțe ca procaina și cocaina, diminuează permeabilitatea membranei la ioni de sodiu.

Prezența uneia dintre aceste substanțe în fluidele din jurul fibrei nervoase împiedică trecerea impulsurilor prin regiunea afectată.

În consecință, aceste substanțe utilizate ca anestezice locale, nu permit ca impulsurile nervoase să ajună la creier, împiedicând astfel producerea senzației de atingere și durere.

### **Sumația spațială și temporală**

Excitarea unei singure terminații presinaptice de pe suprafața unui neuron nu-l va stimula datorită faptului că mediatorul eliberat reușește să producă un potențial postsinaptic de cel mult 0,51mV în loc de 10-20mV cât ar fi necesar pentru a atinge pragul de excitabilitate.

Activarea simultană a unui număr mare de sinapse (peste 15 sinapse) va ridica potențialul sumat până la nivelul prag de excitabilitate și va duce la apariția unui potențial de acțiune în porțiunea inițială a axonului. Acest efect de sumație a potențialelor postsinaptice simultane produse de excitarea unui număr mare de terminații răspândite pe arii largi ale membranei poartă numele de sumație spațială (Guyton, 1997).

Când o terminație presinaptică își eliberează mediatorul, acesta deschide canalele membranei postsinaptice timp de numai o milisecundă, dar potențialul postsinaptic produs durează până la 15 milisecunde. A doua deschidere a aceluiași canal poate ridica și mai mult potențialul postsinaptic. Deci, cu cât este mai rapid ritmul de stimulare, cu atât mai mare va fi potențialul postsinaptic. Prin urmare, potențialele postsinaptice succesive, dacă sunt suficient de frecvente, se pot suma ca și potențialele postsinaptice simultane împrăștiate pe o arie întinsă a membranei neuronale. Acest tip de sumație poartă numele de sumație temporală (Guyton, 1997).

În cazul în care potențialul postsinaptic de sumație nu este suficient de amplu pentru a atinge pragul de excitabilitate, un stimul dintr-o altă direcție poate excita neuronul destul de ușor. În aceste condiții putem spune că neuronul a fost facilitat astfel încât el sau ei pot răspunde rapid și ușor la semnalele venite dintr-o altă sursă.

### **Tipuri de nervi**

O fibră nervoasă este o extensie a unui neuron, iar un nerv este format din grupuri sau mănușuri de fibre nervoase reunite prin păături de țesut conjunctiv.

Ca și fibrele nervoase, nervii care conduc impulsurile în măduva spinării sau în creier sunt numiți nervi senzitivi, iar cei care transmit impulsurile la muschi sau glande sunt numiți nervi motori.

Deoarece majoritatea nervilor includ atât fibre senzoriale cât și motorii, aceștia poartă numele de nervi micști.

## Sinapsa

Neuronii nu sunt interconectați fizic între ei. Dacă ar fi așa, atunci potențialul de acțiune s-ar propaga de la un neuron la altul sau de-a lungul căilor nervoase, la întâmplare. Din această cauză joncțiunile dintre neuroni ca și cele dintre ei, pe de o parte, și elementele receptoare și executive, pe de altă parte se realizează prin intermediul unor formațiuni și mecanisme complexe pe care Foster și Scherrington (1897) le-au denumit sinapse.

La nivelul sinapselor, neuronii nu se află în contact direct deoarece aici există un gol denumit fantă sinaptică (siaptic cleft). Pentru ca un impuls să-și continue drumul de-a lungul unei căi nervoase, el trebuie să traverseze acest spațiu.

Cercetările histologice au arătat că la locul de contact, terminațiile celulare prezintă proeminențe care au forme diferite (picioruș, inel, buton, bulb, varicozități, etc.). Toate aceste structuri sunt cunoscute sub numele generic de butoni sinaptici. Diametrul unui buton este de 0,5 - 2  $\mu$ , iar suprafața de contact are 2 - 4  $\mu^2$ . În general, sinapsa reprezintă o barieră față de potențialul de acțiune care se propagă către terminalul axonal sau presinaptic.

Structural, sinapsa are următoarele elemente: o membrană presinaptică cu vezicule caracteristice al căror diametru este de 300 - 400 Å (1/10000 dintr-un micron), denumite vezicule aposinaptice ale lui Robertis și Benelt, și o membrană postsinaptică situată exact în fața terminației presinaptice și despăcătură sau fanta sinaptică (spațiul cuprins între cele două membrane a cărei grosime se situează între 150-500 Å).

Cu ajutorul microscopului electronic s-au evidențiat în fiecare buton terminal două structuri interne importante pentru funcția excitatorie sau inhibitorie a sinapsei: veziculele sinaptice și mitocondriile. Veziculele sinaptice conțin substanțe neurotransmițătoare care odată eliberate în fanta sinaptică, excită sau inhibă neuronul postsinaptic. Mitocondriile furnizează adenosin trifosfat (ATP), care ulterior asigură energia sintezei noilor cantități de neurotransmițător.

După natură, terminațiile sinaptice pot fi: axosomatie (în măduvă și ganglionii spinali); axodendritice (în scoarța cerebrală), dendrodendritice și axoaxonale.

După efectul produs la nivelul neuronului receptor distingem sinapse excitatoare și sinapse inhibitoare. La acestea se adaugă sinapsele receptoare (senzoriale), prin care se realizează trecerea informației de la nivelul celulelor senzoriale periferice în structurile neuronale specifice sistemelor sintezei aferente,



și sinapse efectoare (vegetative sau motorii), prin intermediul cărora se transmit semnalele de comandă de la centrii sintezei eferente la organele executive de răspuns (glande sau mușchi).

După mecanismul de transfer al excitației de la nivelul neuronului emitent la cel al neuronului receptor se presupune existența unor sinapse cu transmisie chimică și a altora cu transmisie electrică sau combinată. Aproape toate sinapsele folosite pentru transmiterea de semnale în sistemul nervos central sunt sinapse chimice. La aceste sinapse, primul neuron secretă o substanță chimică numită neurotransmițător, care la rândul său acționează asupra unei proteine receptor din membrana neuronului următor, excitându-l, inhibându-l sau variindu-i sensibilitatea. Fiecare neuron motor primește două pînă la șase contacte de la un neuron senzitiv, iar fiecare neuron senzitiv contactează 500 pînă la 1000 neuroni motori. Neurotransmițătorul utilizat de celulele senzoriale primare nu a fost încă identificat cu certitudine, dar se presupune că este aminoacidul L-glutamat.

Pe suprafața somei și a dendritelor neuronului motor tipic din cornul anterior al măduvei spinării se află un număr imens, de pînă la 100.000 de mici butoni, denumiți terminații presinaptice. Aproximativ 80 pînă la 95% dintre acestea se află pe dendrite și numai 5 pînă la 20% pe somă. De obicei numai câteva terminații derivă dintr-un același neuron, majoritatea fiind capetele fibrelor nervoase cu origine în alți neuroni.

Multe din terminațiile presinaptice sunt excitatorii și secretă neurotransmițători ce stimulează neuronul postsinaptic, dar multe altele sunt inhibitorii și secretă substanțe ce inhibă neuronul.

Neuronii din alte zone ale măduvei și creierului diferă net de neuronul motor în ceea ce privește dimensiunea celulei, dimensiunile și numărul dendritelor, lungimea și dimensiunile axonului și numărul terminațiilor presinaptice, aceștia variind de la câteva pînă la mai multe sute de mii. Aceste diferențe fac ca neuronii din zone diferite ale sistemului nervos să reacționeze diferit la informațiile primite și prin urmare să îndeplinească funcții diferite (Guyton, 1997).

**Transmiterea sinaptică.** Se știe că, la nivelul sistemului nervos, informația se transmite printr-o succesiune de neuroni sub formă de impuls nervos. Cu ocazia transmiterii interneuronale apare posibilitatea blocării unui impuls în momentul transmiterii sale de la un neuron la altul, schimbarea unui impuls singular în stimuli repetativi sau integrarea impulsurilor provenite de la mai mulți neuroni cu transmiterea în continuare a unui semnal mai complex. Toate aceste mecanisme aparțin funcțiilor sinaptice ale neuronilor.

La nivelul unui neuron (neuron presinaptic), impulsul trece de la dendrită la corpul său celular, apoi la axon și la terminațiile sale. După traversarea sinapsei impulsul parcurge dendrita și corpul celular al altui neuron (neuron postsinaptic).

Prin urmare, sinapsele transmit întotdeauna dinspre neuronul care secretă transmițătorul (neuron presinaptic), spre neuronul asupra căruia acționează transmițătorul (neuron postsinaptic). Acesta este principiul conducerii într-un singur

sens prin sinapsele chimice. El face ca semnalul să fie îndreptat către un scop specific, în vederea executării cu exactitate a miliardelor de miliarde de funcții motorii, senzoriale, de memorie, gândire, etc.

Procesul de traversare al spațiului sinaptic poartă numele de transmitere sinaptică. Transmiterea în sens unic de la axon la dendrită și la corpul celular este dată de faptul că axonul are la nivelul terminației numeroși butoni sinaptici, pe când dendritele nu. Acești butoni conțin o mulțime de saci membranari numiți vezicule sinaptice.

Când un potențial de acțiune ajunge în regiunea presinaptică, prin stimulare provoacă migrarea unor vezicule stocate în terminalul sinaptic către membrana neurală cu care apoi se unesc și ulterior își golesc conținutul chimic în fanta sinaptică.

Neurotransmițătorul difuzează prin fanta sinaptică unde se combină cu receptorii specifici ai membranei neuronale postsinaptice.

Moleculele neurotransmițătorului au o anumită configurație spațială care se adaptează perfect configurației spațiale a moleculei receptor. Interacțiunea dintre transmițător și receptor este de scurtă durată, dar cât timp durează produce o schimbare în permeabilitatea membranei postsinaptice. În acest mod se face propagarea potențialului de acțiune, dar combinarea unei singure molecule de neurotransmițător cu un singur receptor nu este suficientă pentru depolarizarea completă a membranei postsinaptice. În aceste condiții, impulsul nervos nu poate traversa sinapsa, iar informația pe care o reprezintă rămâne fără efect (pierdută). Pentru producerea transmiterii sinaptice este necesar ca, în decursul unui scurt interval de timp, să ajungă la terminalul presinaptic impulsuri suficient de intense, capabile a stimula eliberarea unei cantități corespunzătoare de neurotransmițător în spațiul sinaptic, care să aducă la nivel de prag membrana postsinaptică. După combinarea cantității respective de mediator chimic cu receptorii postsinaptici, membrana postsinaptică se depolarizează permițând potențialului de acțiune să treacă de-a lungul neuronului postsinaptic. Astfel, frecvența impulsurilor nervoase din neuronul presinaptic nu corelează cu frecvența impulsurilor din neuronul postsinaptic. Prin urmare, funcția mecanismului sinaptic este aceea de a elimina informațiile nerelevante, în cazul unui stimul care produce o concentrație insuficientă de impulsuri incapabile de a excita prima sinapsă din lanțul sinaptic care duce spre creier, deci către conștientizarea senzației. În acest mod informația se pierde, evitându-se astfel supraîncărcarea cerebrală cu date irelevante. Sistemul nervos nu operează de-a lungul unor linii drepte, deoarece impulsul nervos dintr-un neuron apare ca rezumat al sumării a sute de mii de inputuri.

Multă vreme s-a considerat că fluxul presinaptic declanșat de un curent electric depolarizează direct membrana dendritică a neuronului postsinaptic. Cercetările experimentale efectuate ulterior au relevat faptul că în conductibilitatea sinaptică participă unii mediatori chimici.



Doar stimularea electrică nu asigură depolarizarea plăcii neuromusculare. Injectarea unei cantități infime de acetilcolină în spațiul sinaptic facilitează depolarizarea și generarea impulsurilor nervoase.

**Transmiterea sinaptică electrică și chimică.** Ramon Y Cajal (1894) a fost primul care a făcut descrierea histologică a punctelor de contact dintre neuroni, pe care ulterior Foster și Sherrington (1897) le-au denumit sinapse. Loew și Navratil (1926) au demonstrat că acetilcolina mediază transmiterea de la nervul vag la inimă. Acest fapt a provocat în jurul anilor '30 dezbateri considerabile cu privire la mecanismele de transmitere sinaptică de la nivelul nerv-mușchi și creier. Școala fiziologică condusă de Eccles (1957) argumenta că transmiterea sinaptică este electrică, iar potențialul de acțiune circulă în mod pasiv de la neuronul presinaptic la cel postsinaptic. Școala farmacologică condusă de Dale (1935) argumenta că transmiterea se face pe cale chimică cu ajutorul unui mediator chimic (o substanță transmițătoare) care eliberat de neuronul presinaptic dă naștere unui flux de curent în celula postsinaptică. Ulterior, între anii 1950 și 1960 a devenit clar că nu toate sinapsele utilizează același mecanism. Astfel, Fall și Katz (1951), Eccles (1957), Furshpan și Potter (1959) au dovedit existența ambelor modalități de transmitere. La nivelul SN informația este transferată de la un neuron la altul prin două tipuri de transmițători sinaptici: electrici și chimici.

Cu toate că majoritatea sinapselor utilizează transmițători chimici, unele dintre ele operează numai pe cale pur electrică. Cu ajutorul microscopului electronic s-a arătat că sinapsele chimice și electrice au morfologii diferite. La nivelul sinapselor electrice, canalele ionice conectează citoplasma celulelor pre/și postinaptice, în timp ce la nivelul sinapselor chimice nu există nici o continuitate între celule, acestea fiind separate de despicătura sau fanta sinaptică.

Distanța dintre membranele celulare pre/și post sinaptice este de 3,5nm (35Å) la sinapsele electrice și de 30-50 nm la sinapsele chimice.

Spațiul extracelular normal este de 20nm.

La sinapsele electrice agentul transmițător este ionic, iar la cele chimice este chimic. Întârzierea sinaptică este practic absentă la sinapsele electrice, în timp ce la cele chimice este de cel puțin 0.3 ms (obișnuit 1-5 ms sau mai lungă). Direcția de transmitere prin sinapsele electrice este de obicei bidirecțională, iar prin cele chimice unidirecțională.

Sinapsele electrice nu sunt caracteristice numai celulelor nervoase, deoarece ele conectează și alte celule ale corpului (celulele inimii, ale mușchilor netezi) și celulelor epiteliale ale ficatului. În creier, sinapsele electrice sunt mai puțin comune decât sinapsele chimice. Ele se caracterizează printr-o viteză de transmitere rapidă și printr-o funcție relativ stereotipă. De asemenea, sinapsele electrice nu dispun de acțiuni inhibitoare, în timp ce sinapsele chimice mediază atât acțiuni inhibitoare cât și excitatoare și sunt implicate în majoritatea comportamentelor complexe. Fiind mai flexibile, sinapsele chimice rezistă la modificări mari și favorizează plasticitatea

pentru memorie, învățare, percepție, mișcare și alte funcții cerebrale. Mai important este faptul că sinapsele chimice pot amplifica semnalele neuronale, permițând micilor terminale nervoase presinaptice să modifice potențialul unei celule mari postsinaptice.

Bennett și colab.( 1991 ) au constatat că conductanța în unele canale de joncțiune și, prin urmare, transmiterea electrică, pot fi modulate de pH intracelular, de  $\text{Ca}^{2+}$ , sau chiar de neurotransmițători ca mesageri secundari.

Cilindrii interspațiului dintre cele două membrane, care stabilesc comunicarea canaliculă între citoplasma celor două celule, au un diametru de circa 1,5nm. Fiecare hemicanal cilindric poartă numele de conaxon. Fiecare conaxon formează cu hemicanalul celeilalte celule un canal conductiv complet.

Comportamentele mediate de sinapsele electrice au adesea două caracteristici importante: au un prag crescut și apar exploziv, în maniera totu- sau nimic în momentul atingerii pragului înalt. Cele două proprietăți ale sinapselor electrice - viteza și sincronicitatea- le fac potrivite pentru comportamentele rapide și stereotipe de tipul fugii și răspunsului de apărare. Sinapsele electrice sunt importante și pentru transmiterea semnalelor reglatoare între celule.

### **Dendritele și excitarea neuronilor**

Dendritele motoneuronilor din coarnele anterioare medulare pot recepționa semnale dintr-o zonă spațială mare, ceea ce le conferă multiple posibilități de sumare a semnalelor de la numeroși neuroni presinaptici. Important este că 80-90% din terminațiile presinaptice au contact cu dendritele motoneuronului și numai 10-20% cu soma neuronală. Multe dendrite nu pot transmite un potențial de acțiune datorită sărăciei în canale de sodiu activate de voltaj. Totuși, ele transmit un curent electronic către somă prin fluidele dendritelor fără a genera un potențial de acțiune. Înainte de a ajunge la somă, o bună parte din potențial se scurge prin membrană. Această reducere a potențialului pe măsură ce se propagă electronic de-a lungul dendritelor spre somă poartă numele de conducere decrementală. Deci cu cât sinapsa excitatorie se află mai aproape de soma neuronală, cu atât va pierde mai puțin prin conducere. De aceea, sinapsele plasate în vecinătatea somei vor avea un efect excitator mult mai mare decât cele aflate la distanță (Guyton, 1997).

### **Sinapsele chimice**

Spre deosebire de sinapsele electrice, neuronii pre/și postsinaptici ai sinapselor chimice nu sunt conectați structural.

De fapt despicătura sinapselor chimice este mai mare ( 20-40nm ) decât spațiul adiacent extracelular (20 nm). Multe membrane pre/și postsinaptice au regiuni morfologice specializate. Terminalul presinaptic conține colecții de vezicule



(vezicule sinaptice ) pline cu neurotransmițător. Ca răspuns la potențialul de acțiune presinaptic, transmițătorul este eliberat din veziculele sinaptice în fanta sinaptică.

Mecanismele prin care potențialul de acțiune produce eliberarea neurotransmițătorului la nivelul terminațiilor presinaptice se bazează pe ioni de calciu. Membrana sinaptică a terminațiilor presinaptice conține un mare număr de canale de calciu dependente de voltaj.

Când potențialul de acțiune depolarizează terminația presinaptică, o cantitate mare de ioni de calciu intră în terminație. Cantitatea de neurotransmițător eliberată în fanta sinaptică este direct proporțională cu numărul ionilor de calciu ce pătrund în terminație. Acolo, ioni de calciu par să se lege de moleculele proteice de pe suprafața internă a membranei sinaptice, numite situsuri de eliberare. Aceasta face ca veziculele cu neurotransmițător din vecinătate să se lege de membrană și practic să se unescă cu ea, pentru ca în final să se deschidă spre exterior printr-un proces numit exocitoză.

După eliberare, transmițătorul difuzează și se leagă de locurile receptoare ale celulelor postsinaptice, după care deschide (sau închide) canalele ionice și prin aceasta modifică conductanța membranei și potențialul celulei postsinaptice. Aceste trepte duc la o întârziere sinaptică de câteva milisecunde. Deoarece transmiterea sinaptică nu are viteza sinapsei electrice, ea are proprietatea de a amplifica semnalele. Prin eliberarea uneia sau a mai multor vezicule, fiecare conținând mii de molecule de transmițător, se deschid în celula postsinaptică mii de canale ionice. În acest fel un mic terminal nervos presinaptic care generează un curent electric slab poate depolariza o celulă postsinaptică mare. Terminalele presinaptice eliberează mesagerul chimic care are o funcție semnalizatoare. Majoritatea neuronilor au în terminațiile lor presinaptice mecanisme secretorii specializate care focalizează eliberarea prin anumite zone active. Mai mult decât atât același mesager chimic poate îndeplini mai multe funcții. Într-un anumit loc el poate fi un transmițător obișnuit care acționează direct pe celulele vecine; în alt loc poate avea rol de modulator cu acțiune mai difuză, care reglează răspunsurile neuronale fine; și în al treilea loc el poate fi eliberat în curentul sanguin pentru a acționa ca hormon.

Există o mare varietate de peptide cu moleculă mică, care pot servi ca neurotransmițători (de exemplu acetilcolina, acidul gamaaminobutiric - GABA, glicina, glutamatul, serotonina, dopamina, norepinefrina etc.).

Cu toate acestea, acțiunea unui mesager chimic asupra celulei postsinaptice nu depinde de natura chimică a transmițătorului, ci de proprietățile receptorilor cu care se leagă transmițătorul. De exemplu, acetilcolina poate excita unele celule postsinaptice, pe altele le poate inhiba, în timp ce asupra altora poate acționa simultan. Receptorii sunt aceia care determină sinapsele colinergice excitatoare sau inhibitoare, sau acțiunea directă a unui transmițător sau indirectă a unui mesager secund asupra canalelor ionice.

De exemplu, la vertebrate ACh produce excitație sinaptică la nivelul joncțiunilor neuromusculare prin activarea receptorilor nicotinici.

În mod similar ACh încetinește cordul vertebratelor prin acțiunea acestuia asupra receptorilor ACh muscarinici inhibitori.

Noțiunea de receptor a fost introdusă în 1900 de biochimistul german Ehrlich pentru a explica acțiunea selectivă a toxinelor și a altor agenți farmacologici precum și specificitatea reacțiilor imunologice.

Pentru a exercita o acțiune asupra unui țesut, o substanță chimică trebuie să se unească cu acesta precum cheia cu lacătul, spunea Ehrlich.

În 1906 Langley postula că sensibilitatea mușchilor scheletici la curară și nicotină este dată de moleculele receptoare. Teoria receptorilor a fost dezvoltată de Smith și Dale și mult influențată de studiul enzimelor kinetice și interacțiunea cooperativă dintre micile molecule și proteine.

Membrana neuronului postsinaptic conține numeroase proteine receptoare care au două componente importante: o componentă de legare, ce proemină în afara membranei în fanta sinaptică (ea leagă neurotransmițătorul din terminația presinaptică) și un ionofor ce străbate membrana până în interiorul neuronului postsinaptic. Ionoforul poate fi de două tipuri: 1) un canal ionic activat chimic sau 2) o enzimă ce activează o modificare metabolică în interiorul celulei (Guyton, 1997).

Canalele ionice activate chimic sunt de trei tipuri: 1) canale de sodiu, 2) canale de potasiu și 3) canale de clor ce lasă să treacă clorul și câțiva anioni. Deschiderea canalelor de sodiu excită neuronul postsinaptic (receptori excitatori), deschiderea canalelor de potasiu și clor inhibă neuronul, deci acestea sunt receptori inhibitori. Transmițătorii care le deschid pe ultimile două tipuri sunt mediatori inhibitori.

Activarea tipului enzimatic de receptor produce alte efecte în neuronul postsinaptic. Un efect se referă la activarea sistemelor metabolice ale celulei cu producerea de adenzin monofosfat ciclic (cAMP), care la rândul său declanșează alte activități intracelulare. Un alt efect se referă la activarea genelor celulei, care vor duce la sinteza de noi receptori ai membranei postsinaptice. Un al treilea efect este activarea proteinkinazelor, care diminuează numărul receptorilor. Asemenea modificări pot altera reactivitatea sinapsei vreme de minute, zile, luni sau chiar ani.

Mediatorii care produc asemenea efecte sunt denumiți și modulatori sinaptici (Guyton, 1997).

Prin urmare, receptorii neurotransmițătorilor chimici pot fi divizați în două clase, după modul de barare directă sau indirectă a canalelor ionice. Cele două clase de receptori proteici sunt derivate din două familii de gene distincte. Receptorii care barează direct canalele ionice, cum sunt cei care mediază acțiunea ACh la nivelul joncțiunii neuromusculare, se compun dintr-o singură macromoleculă cu numeroase subunități proteice care recunosc atât elementele cât și canalele ionice. Un astfel de receptor ionoforic se leagă de un neurotransmițător după care suferă o modificare conformațională ce deschide canalul. Mecanisme similare sunt



găsite și la nivelul anumitor canale din SNC, reglate de glutamat, glicină și GABA. Receptorii care barează indirect canalele ionice, cum sunt sinapsele din cortexul cerebral pentru serotonină și norepinefrină, implică receptori separați și canale ionice care comunică prin legăturile proteice de tip GTP (proteine G). Aceste proteine G cuplează receptorii la enzimele efectorului ce produc unul sau altul din mesagerii secunzi intracelulari, cum ar fi cAMP-ul sau diacilglicerolul. Mesagerul secund acționează apoi direct asupra canalului, care în mod obișnuit activează una din familia enzimelor numită *protein kinaze*, modulează apoi canalele prin fosforilarea proteinei canaliculare sau printr-o proteină reglatoare care acționează asupra canalului.

În plus, în anumite cazuri, proteina G poate interacționa direct cu canalele ionice, independent de producția mesagerului secund.

În timp ce receptorii care barează direct canalele ionice se compun din mai multe subunități, cei care activează cascada mesagerului secund cu ajutorul proteinei-G se compune dintr-un singur lanț polipeptidic. Cele două tipuri de receptori au funcții diferite. Receptorii care barează direct canalele ionice produc acțiuni sinaptice relativ rapide, ce durează numai câteva milisecunde. Aceștia sunt utilizați în mod obișnuit în circuitele neurale care produc comportamente.

Receptorii care barează indirect canalele ionice duc la acțiuni sinaptice lente ce durează secunde și chiar minute. Aceste acțiuni lente servesc adesea la modularea comportamentului prin modificarea excitabilității neuronilor și prin trăinicia conexiunilor sinaptice ale circuitelor neuronale de bază. De exemplu, modularea căilor sinaptice servește adesea la consolidarea stimulilor de învățare (Kandel și colab. 1991).

## **Inputurile primite de neuroni pot fi excitatoare sau inhibitoare**

Neurotransmițătorii care cresc permeabilitatea membranei la ioni de sodiu și generează impulsuri nervoase sunt excitatori. În categoria acestor substanțe intră serotonina, dopamina și norepinefrina.

Neurotransmițătorii care diminuează permeabilitatea membranei la ioni de sodiu și cresc pragul de stimulare sunt inhibitori, deoarece micșorează șansa ca un impuls nervos să fie transferat la un neuron învecinat. În rândul acestor neurotransmițători intră aminoacizii GABA și glicina. Butonii sinaptici a peste o mie de neuroni, pot comunica cu dendritele și corpul celular al unui neuron particular. Neurotransmițătorii eliberați de unii din acești butoni au o acțiune excitatoare, iar alții proveniți de la alți butoni au o acțiune inhibitoare. Efectul asupra neuronului postsinaptic depinde de felul butonilor activați de la un moment la altul. Cu alte cuvinte, dacă sunt eliberați mai mulți neurotransmițători excitatori decât inhibitori, atunci pragul neuronilor postsinaptici poate fi depășit, fapt care favorizează trecerea influxului nervos prin suprafața lor. Invers, dacă majoritatea neurotransmițătorilor eliberați sunt inhibitori devine imposibilă conducerea oricărui impuls nervos.

Atunci când starea de excitație a unui neuron depășește pragul de excitabilitate, neuronul va descărca impulsuri repetativ atâta timp cât starea lui de excitație rămâne la acest nivel. În plus, ritmul în care va descărca impulsuri este determinat de valoarea cu care starea de excitație depășește nivelul prag.

Totuși, capacitatea de răspuns la stimularea sinaptică este diferită pentru diverse tipuri de neuroni. Astfel, unii neuroni din sistemul nervos central descarcă permanent, deoarece starea lor de excitație normală depășește nivelul prag. Frecvența lor de descărcare poate fi mărită prin amplificarea stării lor de excitație sau poate fi redusă până la întrerupere prin supraadăugarea unei stări de inhibiție a neuronului. Deci pentru îndeplinirea mării varietăți de funcții ce aparțin sistemului nervos este important să avem neuroni cu particularități diferite de răspuns.

Prin urmare, răspunsurile produse de neurotransmițători la nivelul sinapsei pot fi excitatoare sau inhibitoare. Unii neurotransmițători eliberați de terminalul axonal al neuronilor excitatori determină, la nivelul celulei postsinaptice, o acțiune potențială.

Alții, eliberați de axonul terminal al neuronilor inhibitori, împiedică stimularea celulei postsinaptice.

Curara, utilizată în chirurgie pentru relaxarea mușchilor în timpul operației, provoacă paralizie prin blocarea transportării semnalelor excitatorii la nivelul joncțiunii neuromusculare, în timp ce stricnina dă spasme musculare și moarte prin blocarea eliberării semnalelor inhibitoare.

Neurotransmițătorii excitatori și inhibitori formează legături cu receptori diferiți, astfel încât caracterul receptorului este dat de diferența pe care o face între excitație și inhibiție. Receptorii principali pentru neurotransmițătorii excitatori (acetilcolina și glutamatul) sunt canalele ionice care permit trecerea  $\text{Na}^+$  și a  $\text{Ca}^{2+}$ . Când neurotransmițătorul formează legături cu receptorii, canalele se deschid pentru a permite un influx important de  $\text{Na}^+$  care depolarizează membrana plasmatică, aducând-o către potențialul prag necesar pentru deplasarea acțiunii potențiale. Astfel, stimularea acestor receptori tinde să activeze celula postsinaptică. Dimpotrivă receptorii pentru neurotransmițătorii inhibitori (cel mai important fiind acidul  $\gamma$ -aminobutiric-GABA și glicina) sunt reprezentați de canalele pentru  $\text{Cl}^-$ . Când neurotransmițătorul se atașează de ele, canalele se deschid.

Din cauză că forța de mișcare a  $\text{Cl}^-$  prin membrană se apropie de zero, în cazul potențialului de membrană, în celulă intră foarte puțin  $\text{Cl}^-$  la nivelul punctului respectiv.

Dacă se deschid și canalele de  $\text{Na}^+$ , atunci  $\text{Na}^+$  va intra rapid în celulă și va scoate potențialul de membrană din starea sa de repaus. Această modificare face ca  $\text{Cl}^-$  să se mobilizeze în celulă și să neutralizeze efectul influxului de  $\text{Na}^+$ .

În acest mod neurotransmițătorii inhibitori suprimă producerea potențialului de acțiune făcând membrana celulei țintă mai greu de depolarizat. Cele mai multe medicamente utilizate în tratamentul insomniei, anxietății, depresiei și schizofreniei își exercită acțiunea la nivelul sinapselor cerebrale, majoritatea acționând prin



legăturile pe care le formează cu canalele ionice, a căror transmitere este direcționată. Barbituricele și tranchilizantele (valium, halcion, temazepam) se leagă de canalele de  $\text{Cl}^-$  cu poartă pentru GABA. Legăturile respective fac mai ușoară deschiderea canalelor de către GABA, celula devenind astfel mai sensibilă la acțiunea inhibitoare a GABA. În contrast, antidepresivul prozac blochează reabsorbția neurotransmițătorului excitator, serotonina crescând astfel cantitatea de serotonină din sinapsele care utilizează neurotransmițătorul respectiv. Modul în care acest medicament înlătură depresia este încă un mister.

Un număr de droguri interferează cu acțiunea normală a diferiților neurotransmițători. Astfel, LSD contracarează funcția serotoninei, cocaina întărește efectele norepinefrinei prin împiedicarea inactivării sale normale iar amfetamina accelerează eliberarea excesivă de dopamină. Unele droguri anxiolitice, de tipul diazepamului (Valium ) par a-și exercita efectul prin creșterea eficacității neurotransmițătorului inhibitor GABA. Cafeina, teina și teobromina aflate în cafea, ceai și respectiv cacao cresc excitabilitatea, prin micșorarea pragului de excitabilitate al neuronilor. Stricnina, unul dintre cei mai cunoscuți agenți de creștere a excitabilității neuronale, acționează prin inhibarea acțiunii unora din mediatorii inhibitori, mai ales a glicinei din măduva spinării. În consecință, efectul mediatorilor excitatori este amplificat iar neuronii devin atât de excitabili încât descarcă rapid repetitiv, provocând spasme musculare tonice severe.

Majoritatea anestezicelor cresc pragul membranelor de excitabilitate și reduc transmiterea sinaptică în multe puncte din sistemul nervos prin schimbarea caracteristicilor fizice ale membranelor neuronale.

Numărul diferitelor tipuri de receptori pentru neurotransmițători este foarte mare dar ei aparțin unui număr mic de familii. De exemplu, multe subtipuri de receptori pentru acetilcolină, glutamat, GABA, glicină și serotonină localizate pe diferiți neuroni se deosebesc numai prin câteva proprietăți subtile. Cu această largă varietate de receptori este posibil a găsi o generație nouă de medicamente psihoactive care să acționeze selectiv asupra unui set specific de neuroni pentru înlăturarea bolilor mintale care devastează atât de multă lume. Unul la sută din populația umană are schizofrenie și alt procentaj de 1% suferă de maladia maniaco-depresivă (Alberts și colab. 1998).

### **Conexiunile sinaptice ne permit să gândim, să acționăm și să ne reamintim**

La nivelul unei sinapse chimice, terminalul nervos al celulei presinaptice convertește semnalul electric într-un semnal chimic, iar celula postsinaptică convertește din nou semnalul chimic în unul electric.

Valoarea sinapselor chimice devine clară atunci când sunt considerate în contextul funcționării sistemului nervos cu enorma sa rețea neuronală interconecta-

tă prin numeroase căi ce efectuează computații complexe, înmagazinări de memorie și planuri de acțiune.

Pentru realizarea acestor funcții neuronul trebuie să facă mai mult decât să genereze și să transmită semnalele; el trebuie să combine, să interpreteze și să înregistreze informațiile primite. Aceste activități devin posibile datorită sinapselor chimice.

De exemplu, un neuron motor din măduva spinării primește inputuri de la sute și mii de alți neuroni care fac sinapsă pe el. Unele din aceste semnale tind să stimuleze neuronul, în timp ce altele tind să-l inhibe.

După combinarea de către neuronul motor a tuturor informațiilor primite, acesta reacționează prin declanșarea potențialelor de acțiune de-a lungul axonului fie pentru a stimula mușchiul, fie pentru a-l face să rămână liniștit. Sarcina de realizare a unui output corespunzător implică interacțiunea complicată a diferitelor canale ionice din membrana postsinaptică a neuronului.

Din sutele de tipuri de neuroni existente în creier, fiecare are setul său caracteristic de receptori și canale ionice care îl fac apt să răspundă într-un anumit fel la anumite seturi de inputuri și astfel să-și îndeplinească sarcina specializată.

Mai mult, canalele ionice și alte componente sinaptice pot suferi modificări permanente conform uzajului pe care îl au păstrând în felul acesta traseele ultimelor evenimente. În acest mod, se înmagazinează memoria. Prin urmare, canalele ionice reprezintă inima mașinăriei care face posibilă acțiunea, gândirea, sentimentele și vorbirea (Alberts și colab. 1998).

Așadar, căile de transmitere și de prelucrare a impulsurilor nervoase reflectă în parte modul de organizare a neuronilor și a fibrelor lor nervoase în interiorul creierului și măduvei spinării.

## Sistemul neuronal

Neuronii de la nivelul SNC sunt organizați în grupuri cu număr variabil de celule numite câmpuri neuronale. Fiecare câmp primește impulsuri de la anumite fibre nervoase. Aceste impulsuri sunt prelucrate după specificul câmpului respectiv, iar impulsurile care rezultă sunt conduse la distanță prin fibrele de ieșire.

Fiecare fibră aferentă se divide de nenumerate ori la intrare, iar ramurile sale se răspândesc într-o anumită regiune a câmpului neuronal.

Ramurile respective dau ramuri mai mici, iar terminalele lor formează sute de sinapse cu dendritele și corpii celulari ai neuronilor din câmp.

## Facilitarea

Ca rezultat al impulsurilor de intrare și a eliberării neurotransmițătorilor, un neuron particular din câmpul neuronal poate primi stimuli excitatori și inhibitori.



Dacă efectul stimulării este excitator, acesta trebuie să atingă pragul pentru a da naștere unui impuls. Dacă efectul excitator este sub prag, el nu va mai da naștere unui impuls. Totuși, în astfel de cazuri, neuronii devin mai excitabili față de stimulii aferenți, apărând așa zisul fenomen de facilitare.

### **Convergența**

Toți neuronii din câmpul respectiv primesc impulsuri de la două sau mai multe fibre aferente. Mai mult, aceste fibre care converg către același neuron, pot proveni din părți diferite ale sistemului nervos.

Convergența impulsurilor provine din surse diferite, creând astfel un efect aditiv asupra neuronului. De exemplu, dacă un neuron este facilitat de unii stimuli sub prag primiți printr-o fibră, pragul său poate fi atins dacă acesta primește stimulări adiționale și de la o a doua fibră. Ca rezultat, un impuls aferent poate fi transmis unui efector particular și poate cauza un răspuns. Adesea impulsurile aferente reprezintă informații provenite de la diferiți receptori senzoriali, la care trebuie detectate modificările care au loc. Convergența permite aducerea la nivelul sistemului nervos a diferitelor feluri de informații, prelucrarea acestora și elaborarea răspunsurilor corespunzătoare.

### **Divergența**

Impulsurile care părăsesc câmpul neuronal diverg adesea prin trecerea lor în numeroase alte fibre de ieșire. De exemplu, impulsul dintr-un neuron poate stimula alți doi neuroni, la rândul lor fiecare din aceștia pot stimula mulți alți neuroni și așa mai departe. Astfel, un aranjament de fibre nervoase divergente poate duce la amplificarea răspunsului prin răspândirea lui la un număr crescut de neuroni din câmpul respectiv. Ca rezultat al divergenței, un impuls provenit dintr-un singur neuron al SNC poate fi amplificat astfel încât să poată ajunge la o unitate din musculatura scheletului suficiente impulsuri care să determine producerea unei contracții puternice. În mod similar, un impuls originar din receptorii senzoriali poate diverge și ajunge în diferite regiuni ale SNC, unde poate fi prelucrat și interpretat.

### **Transformarea informației**

Informația transmisă de un semnal este transformată atunci când trece de la o componentă neuronală la alta. În cazul reflexului de extensie putem constata foarte clar aceste transformări în forma lor cea mai elementară.

Caracteristicile stimulării extensiei musculare- amplitudinea și durata- sunt reflectate în gradul amplitudinii și duratei potențialului receptor din neuronul

aferent. Dacă potențialul receptat depășește pragul de inițiere al unui potențial de acțiune, semnalul de gradare este transformat din segmentul inițial al unui neuron aferent într-un semnal tot-sau-nimic (pattern al potențialului de acțiune, sau codul frecvenței). Potențialul de acțiune garantează că semnalul poate fi propagat cu exactitate la terminalele neuronului. Mai mult decât atât, creșterea amplitudinii potențialului receptor dincolo de prag duce și la creșterea frecvenței potențialelor de acțiune, iar orice creștere a duratei semnalului aferent duce și la creșterea duratei succesiunii potențialelor de acțiune.

La nivelul terminalelor presinaptice ale unui neuron senzorial, frecvența potențialelor de acțiune determină cantitatea de transmitător eliberat.

Prin urmare, frecvența unui potențial de acțiune este retransformată într-un semnal analog, adică într-o cantitate gradată de transmitător. Acest set de transformări se repetă și în neuronul motor.

Pentru a iniția un potențial sinaptic gradat, care să se transmită segmentului inițial al axonului, transmitătorul eliberat de neuronul senzorial, trebuie să interacționeze cu receptorii moleculari de pe neuronul motor. Aici apare potențialul de acțiune care se propagă către terminalele celulei motorii unde se eliberează un neurotransmițător. Acesta dă naștere la nivel muscular unui potențial sinaptic. Potențialul sinaptic transmis fibrei musculare dă un potențial de acțiune care duce la transformarea finală a acestui reflex -contracția musculară sau generarea unui act comportamental-.

Reflexul de extensie este un comportament foarte simplu, produs de două clase de neuroni conectați între ei prin legături excitatoare.

În creier jumătate din neuroni sunt inhibitori. Ei eliberează transmitători care hiperpolarizează potențialul membranei celulelor postsinaptice și reduc probabilitatea stimulării. De exemplu, în cazul reflexului rotulian, neuroni aferenți care contractă mușchii extensori ai membrului inferior activează și inter neuroni inhibitori care împiedică punerea în acțiune a mușchilor flexori, antagoniști.

Aceasta este o inhibiție de tip feed-forward, cu rolul de a suprima alte acțiuni competitive. Ea poate fi autoreglată prin varietatea feedback-ului. În această inhibiție, neuronul care excită celula țintă acționează și asupra interneuronului inhibitor feed-back, anihilând astfel neuronul activ sau inhibând abilitatea sa de a excita ținta. Și în cazul comportamentelor complexe întâlnim ambele tipuri de aranjamente inhibitorii.

Patternul interacțiunilor permite transmiterea relativ stereotipă de către celulele nervoase a informației unice.

Am văzut cum un număr limitat de celule nervoase pot interacționa pentru a produce un comportament simplu prin activarea unor mișcări și inhibarea altora. La nivelul creierului uman, fiecare comportament este generat de mai multe celule.

Mediatorul neural al comportamentului este subdivizat în aspecte discrete determinate de inputul senzorial, outputul motor și de procesele de prelucrare a informației.



Fiecare din aceste aspecte este transmis de un grup de neuroni sau chiar de mai multe grupe neuronale. Implicarea numeroaselor grupe sau căi neuronale în transmiterea aceleiași informații poartă numele de prelucrare paralelă. Acest fapt mărește bogăția și siguranța funcțiilor din interiorul SNC.

Cheia strategiilor sistemului nervos constă în subdiviziunea și localizarea funcțiilor. În creier, aspectele specifice ale prelucrării informaționale sunt restrânse la anumite regiuni particulare. De exemplu, fiecare modalitate senzorială este prelucrată într-o regiune distinctă în care conexiunile senzoriale sunt reprezentate precis, sub forma unei hărți a suprafeței corespunzătoare corpului (pielea, tendoanele și articulațiile, retina, cohleea membranoasă, epiteliul olfactiv). Mușchii și mișcările sunt de asemenea reprezentate într-un aranjament ordonat de conexiuni. Astfel, creierul conține cel puțin două clase de hărți: o clasă pentru percepțiile senzoriale și o alta pentru comenzile motorii.

Cele două tipuri de hărți sunt interconectate într-un anume fel care nu este total înțeles.

Majoritatea neuronilor motori, senzoriali sau interneuroni nu diferă mult din punct de vedere al proprietăților lor electrice.

Astfel, neuronii cu proprietăți similare duc la bun sfârșit anumite funcții datorită conexiunilor pe care aceștia le fac la nivelul SN. Aceste conexiuni se stabilesc în timpul dezvoltării și determină rolul celulelor în comportament.

Clarificarea componentelor proceselor mintale și a operațiilor logice efectuate de anumite grupuri neuronale ale diferitelor regiuni cerebrale se datorează cunoașterii și specificării interconexiunilor rețelei prin care circulă fluxul informațional.

Cercetătorii care lucrează în domeniul inteligenței artificiale au utilizat inițial pentru simularea proceselor cognitive cerebrale înalte (recunoașterea, achiziția noilor informații, memoria și performanțele motorii) modelele de prelucrare scrisă. Ulterior, și-au dat seama că, deși aceste modele seriale rezolvă multe probleme, inclusiv jocul de șah, ele execută slab și încet alte computațiuni (recunoașterea rapidă a figurilor omenești, înțelegerea vorbirii) pe care creierul le rezolvă rapid.

Ca rezultat, majoritatea modelatorilor funcțiilor neurale au renunțat la sistemele seriale și au adoptat sistemele distribuției paralele, pe care le-au numit modele conexiuniste. Modelele conexiuniste utilizează elementele computaționale interconectate care, ca și circuitele neurale, prelucrează informația simultan și în paralel. În aceste modele elementele individuale nu transmit o cantitate mai mare de informație.

Prelucrarea mai complexă a informației se datorează nu contribuției mai mari a elementelor individuale, ci stabilirii conexiunilor dintre mai multe elemente. Neuronii individuali pot îndeplini computații importante prin faptul că ei sunt legați împreună în diferite moduri organizate (Kandel, 1991). Totuși, două aspecte determină patternul funcțional al neuronilor. Primul, care se referă la maximizarea puterii de prelucrare, de estimare a sistemului nervos se bazează pe faptul că

neuronii trebuie să fie mici pentru ca un mare număr din aceștia să poată fi conținuți în spațiul disponibil. Al doilea, care se referă la maximizarea abilității organismului de a răspunde la modificările mediului său înconjurător, se bazează pe faptul că neuronii trebuie să conducă semnalele în mod rapid.

Celulele nervoase diferă de celelalte celule ale corpului prin faptul că ele pot comunica rapid unele cu altele, uneori la mare distanță dar cu mare precizie. Această comunicare rapidă și precisă este posibilă datorită celor două mecanisme de semnalizare-conducerea axonală și conducerea sinaptică.

## Sinteza și traficul proteinelor neuronale

În privința sintezei și circulației proteinelor neuronale, Schwartz (1991) dă următoarele explicații:

Informația genetică din nucleu este transcrisă în ARN-ul mesager (mARN) și transportată prin porii nucleari în citoplasmă unde este tradusă în una din cele trei clase majore de proteine: 1) citozolică, 2) nucleară, mitocondrială și peroxisomală și 3) proteine pentru sistemul membranal major al neuronului. Fiecare din aceste clase de macromolecule are un anumit rol fiziologic în biologia neuronului.

Proteinele citozolice distribuite în întreg neuronul prin transport axoplasmic încetinit includ elementele fibrilare ale citoscheletului care determină forma celulelor și enzimele citozolice. Aceste enzime utilizate pentru metabolismul intermediar și pentru biosinteza căilor consumă sau transformă multe substanțe celulare cu greutate moleculară mică.

Proteinele destinate pentru nucleu includ enzime importante care sintetizează ARN, ADN și diferiți factori de transcripție care reglează expresia genelor. Două organe care sunt independente de sistemul membranal major al neuronului - mitocondria și peroxizomii - au funcții similare în toate celulele corpului.

Funcția primară a mitocondriei, distribuită în întreg neuronul în faza transportului lent, este aceea de a genera ATP, moleculă majoră prin care energia celulară este transferată sau consumată.

Peroxizomii care au funcție detoxificatoare cu ajutorul reacției de peroxidare împiedică acumularea hidrogen peroxidului, agent puternic oxidant, deoarece aproape jumătate din conținutul său proteic este format din enzima catalază.

În sfârșit, membrana și proteinele secretorii care circulă de-a lungul axonului și dendritelor prin transport axonal rapid acționează în funcția semnalizatoare a neuronului și în interacțiunea sa cu mediul înconjurător prin secreție (exocitoză) și prin menținerea membranei plasmactice, prin reciclarea membranei (endocitoză).

Proteinele care aparțin acestor trei clase au proprietăți ce le fac să contribuie indirect la conducerea axonală și la transmiterea sinaptică.

Astfel, enzimele citozolice catalizează sinteza substanțelor transmițătoare cu moleculă mică, iar energia ATP formată în mitocondrii este utilizată în transmiterea sinaptică.



Unul din produșii importanți ai membranei celulare și ai proteinelor secretorii din neuron este vezicula sinaptică, iar în neuronii peptidergici conținutul neurosecretor. În această clasă multe din proteinele membranare sunt destinate să devină receptori și canale ionice.

### Transmiterea directă la nivelul sinapsei nerv-mușchi

O singură fibră musculară este inervată numai de un axon.

Transmițătorul eliberat de porțiunea terminală a axonului este ACh, iar receptorul acetilcolinic de pe membrana musculară este de tip nicotinic. Există două tipuri de receptori la ACh, nicotinic și muscarinic. Axonul neuronului motor inervează o regiune specializată a membranei musculare numită placă terminală. În apropierea acesteia, axonul pierde teaca sa de mielină și se împarte în ramuri fine. Un ram fin are o grosime de aproape 2  $\mu\text{m}$  și formează la capete varicozități multiple numite butoni sinaptici, la nivelul cărora este eliberat transmițătorul. Fiecare buton este așezat într-o depresiune a fibrei musculare, unde membrana acesteia formează pliul joncțional.

Suprafața întregii fibre musculare este acoperită de collagen și glicoproteine. Terminalul presinaptic și fibra musculară secretă în membrana bazală, la nivelul plăcii terminale proteine și enzima acetilcolinesteraza, care inactivează ACh eliberată de terminalul presinaptic prin hidrolizarea ei în acetat și colină. Butonul presinaptic conține întreaga aparatură necesară eliberării transmițătorului. Aceasta include: veziculele sinaptice cu ACh, zonele active membranare de eliberare a transmițătorului și canale de  $\text{Ca}^{2+}$  barate și voltate.

Aceste canale permit intrarea în terminal a  $\text{Ca}^{2+}$  la apariția fiecărui potențial de acțiune.

$\text{Ca}^{2+}$  favorizează fuzionarea veziculelor sinaptice cu terminalul, fuziune care duce la eliberarea conținutului veziculat. Fiecare zonă activă se află în fața pliului joncțional postsinaptic. Pe creasta fiecărui pli se află receptori pentru ACh organizați în mănunchiuri geometrice cu o densitate de 10000 receptori pe  $\text{mm}^2$ . Fiecare proteină receptoare are un diametru de circa 8,5 nm, iar la colorare apar ca niște cilindri găuriți. În regiunea de sub creastă, în profunzimea pliului, membrana celulei musculare este bogată în canale de  $\text{Na}^+$  barate și voltate care convertesc potențialul plăcii terminale în potențial de acțiune. Stimularea unui axon motor duce la eliberarea ACh din terminalul axonal, la interacțiunea acesteia cu receptori ACh din creasta pliului membranei musculare și la apariția potențialului postsinaptic, numit potențial de placă terminală.

Amplitudinea potențialului plăcii terminale este de obicei mare.

O singură celulă motoare produce un potențial sinaptic de aproximativ 70 mV, suficient pentru a da naștere în fibra musculară unui potențial de acțiune. În contrast, majoritatea neuronilor din SNC produc potențiale sinaptice cu o amplitudine sub 1 mV. Deoarece, acest potențial este mic devine necesară intervenția

inputurilor mai multor neuroni pentru a genera un potențial de acțiune în neuronii centrali.

Fatt și Katz (1951) au fost aceia care au studiat amănunțit potențialul sinaptic de la nivelul sinapsei nerv-mușchi.

Cu ajutorul curarei, ei au redus amplitudinea potențialului sinaptic sub pragul său de acțiune. Tubocurarina, agent activ, purificat, blochează transmiterea neuromusculară prin blocarea receptorilor și împiedicarea activării lor de către ACh. Fatt și Katz (1951) au ajuns la concluzia că potențialul sinaptic este generat de un curent limitat la regiunea plăcii terminale, de unde se răspândește pasiv la distanță.

Nu toată ACh ajunge la receptorii postsinaptici, deoarece în fantă o parte este hidrolizată de acetilcolinesteraza membranei bazale, iar o altă parte difuzează în afara fantei sinaptice.

Canalele ionice de la nivelul plăcii terminale sunt permeabile atât pentru sodiu cât și pentru potasiu.

O cheie importantă poate fi obținută prin modificarea sistematică a potențialului de membrană și determinarea potențialului inversat al acțiunii sinaptice.

Potențialul inversat al plăcii terminale este un potențial membranar în care potențialul sinaptic sau curentul sinaptic este zero.

La nivelul potențialului inversat nu există nici un curent net deoarece o cantitate egală de curent curge în ambele direcții.

Takeuchi (1977) a constatat că, la nivelul plăcii terminale, canalele sinaptice sunt aproape egal permeabile pentru ambii cationi majori,  $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$ .

Astfel, în timpul potențialului sinaptic  $\text{Na}^+$  intră în celulă, iar  $\text{K}^+$  iese din celulă. Prin urmare, legarea ACh de receptori duce la deschiderea canalelor proteinei receptoare. Aceste canale sunt permeabile pentru cationi ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  și  $\text{Ca}^{2+}$ ), iar deschiderea lor duce la apariția unui influx de ioni de  $\text{Na}^+$  și la producerea depolarizării potențialului sinaptic, denumit potențial al plăcii terminale.

Deoarece canalele activate de ACh sunt deschise în număr limitat (acest lucru depinzând de cantitatea de ACh fixată în celula postsinaptică), ele nu pot produce un potențial de acțiune regenerativ. În schimb, prin depolarizarea celulei postsinaptice, ele activează canalele din afara plăcii terminale dependente de voltajul  $\text{Na}^+$ .

Deoarece canalele de  $\text{Na}^+$  sunt reglatoare ale voltajului, multe din ele se deschid ca rezultat al depolarizării crescute a celulelor postsinaptice. În acest fel, canalele de  $\text{Na}^+$  pot genera cantitatea de curent necesară producerii potențialului de acțiune.

Există trei mari deosebiri între canalele cu poartă pentru transmitător și cele cu poartă voltată. Prima se referă la faptul că prin canalele cu poartă voltată,  $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$  circulă prin canale selective, unele pentru  $\text{Na}^+$  și altele pentru  $\text{K}^+$ , activate secvențial. În contrast canalele activate de ACh sunt destul de largi pentru



a permite trecerea prin ele atât a  $\text{Na}^+$ , a  $\text{K}^+$  și a  $\text{Ca}^{2+}$ . Anionii sunt excluși deoarece canalele au sarcini fixe negative. Porul canalelor activate de ACh are un diametru de aproximativ 0,65nm, cel al canalelor de  $\text{Na}^+$  are 0,5nm, iar cel al canalelor pentru  $\text{K}^+$  are 0,3nm.

A doua diferență constă în faptul că fluxul  $\text{Na}^+$  prin canalele cu poartă voltată este regenerativ. Depolarizarea crescută a celulelor cauzată de influxul  $\text{Na}^+$  duce la deschiderea mai multor canale de  $\text{Na}^+$  cu poartă voltată.

În contrast, numărul canalelor activate de ACh deschise în timpul potențialului sinaptic se limitează la cantitatea de ACh disponibilă.

Depolarizarea produsă de impulsul de  $\text{Na}^+$  nu duce la deschiderea mai multor canale cu poartă pentru transmitător și din cauză că ele sunt limitate și nu produc un potențial de acțiune tot sau nimic. Pentru apariția unui potențial de acțiune, este necesar ca potențialele plăcii terminale să recruteze canale cu poartă voltată din vecinătate.

A treia deosebire este farmacologică și se referă la sensibilitatea diferită a celor două tipuri de canale, la diferite droguri și toxine.

Tetrodotoxina care blochează canalele de  $\text{Na}^+$  cu poartă voltată nu blochează influxul  $\text{Na}^+$  prin cele nicotinic (Kandel și Siegelbaum, 1991).

## Transmiterea cu poartă directă la nivelul sinapselor centrale

După Kandel și Schwartz (1991) transmiterea sinaptică chimică de la nivelul SNC este similară în principiu cu cea de la nivelul joncțiunii neuromusculare, dar diferă din anumite puncte de vedere.

La nivelul SNC transmiterea sinaptică poate fi excitatoare sau inhibitoare. Potențialul postsinaptic excitator de la nivelul SNC tinde să aibă o amplitudine sub 1mV, în comparație cu 70mV la mușchi.

Un neuron central primește inputuri de la sute de neuroni presinaptici, în timp ce o fibră musculară este inervată de un singur neuron motor.

Transmițătorul excitator major din creier și măduva spinării este glutamatul. Până acum au fost identificate patru clase de receptori postsinaptici pentru glutamat, iar fiecare din aceștia au subtipuri.

Receptorii quisqualat și kainat sunt aproape similari, fapt care a dus la încadrarea acestora în clasa receptorilor AMPA ( $\alpha$  amino-3 hidroxi-5 metil-4 izoxazol propionic acid).

Acești receptori formează canale permeabile pentru  $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$ , dar nu și pentru  $\text{Ca}^{2+}$  și au potențialele inverse situate în jur de 0mV.

Fluxul ionic din aceste canale mediază producerea potențialului postsinaptic excitator (depolarizant) în neuronii motori prin fibre aferente.

Ca rezultat al studiilor farmacologice efectuate de Watkins și Evans(1981), știm că glutamatul se leagă și de receptorul NMDA (N-methyl-D- aspartate) care formează canale permeabile pentru  $\text{Ca}^{2+}$ , dar și pentru  $\text{Na}^+$  și  $\text{K}^+$ . Aceste canale

unice printre receptorii cu poartă pentru transmițători sunt dependente și de voltaj. În stare de repaus canalele respective sunt blocate de  $Mg^{2+}$  extracelular, care este înlăturat când membrana este depolarizată. În acest mod, glutamatul și depolarizarea sunt necesare pentru deschiderea canalelor receptor NMDA. Din cauza întârzierii deschiderii, fulxul ionic din aceste canale contribuie la componenta tardivă a potențialului postsinaptic excitator.

Receptorii NMDA se deosebesc din punct de vedere farmacologic de receptorii quisqualați și kainati. Ei sunt blocați în mod selectiv de către APV(2-amino-5-phosphonovalerate) și inhibați de substanța halucinogenă PCP (phencyclidina). Influxul calciului prin canalele receptoare NMDA atrage procese celulare implicate în anumite tipuri de memorie, dar și în apariția unor leziuni cerebrale.

Cantitatea excesivă de glutamat are o mare acțiune toxică asupra neuronilor. Deoarece glutamatul este transmițătorul excitator major din creier, aproape toate celulele cerebrale au receptori care-i răspund

În culturi de țesuturi expunerea scurtă la concentrații crescute de glutamat duce la omorârea multor neuroni. Toxicitatea la glutamat ar rezulta predominant din influxul excesiv de  $Ca^{2+}$  prin canalele NMDA activate. Concentrația înaltă de  $Ca^{2+}$  intracelular poate activa  $Ca^{2+}$  proteazic dependent și produce radicali liberi care sunt toxici pentru celulă. Toxicitatea la glutamat poate contribui la lezarea celulelor după stroke, la moartea celulelor din statusul epileptic și la apariția maladiilor degenerative de tipul coreei Huntington.

Agenții care blochează în mod selectiv receptorii NMDA au rol protector împotriva efectelor toxice ale glutamatului și sunt testați acum în clinici.

A patra clasă a receptorilor la glutamat, quisqualatul B, nu este cuplată direct în canalele ei prin intermediul unei căi mesager secundare.

Transmițătorii inhibitori majori de la nivelul sistemului nervos central sunt GABA și glicina. Acțiunea sinaptică inhibitoare este mediată de canalele receptor selective pentru clor. Poarta acestor canale receptor postsinaptice permit pătrunderea  $Cl^-$  în celulă și hiperpolarizarea membranei. Deschiderea acestor canale duce la creșterea conductanței membranei restante și la șuntarea oricărui curent excitator care are tendința să ajungă în celulă.

Concentrația  $Cl^-$  este mai mare extracelular (150mM) și mai mică intracelular (15mM), astfel încât deschiderea canalelor pentru  $Cl^-$  duce la mișcarea  $Cl^-$  sub gradientul său de concentrație. Influxul  $Cl^-$  adaugă sarcini negative mediului intracelular, iar efluxul  $K^+$  duce la diminuarea sarcinilor pozitive. Astfel, deschiderea canalelor de  $Cl^-$  sau de  $K^+$  duce la instalarea unui mediu pozitiv în afară și la o hiperpolarizare netă. Două clase importante de medicamente, benzodiazepinele și barbituricele, se leagă de receptori GABA, întărind astfel fluxul  $Cl^-$  prin aceste canale, ca răspuns la GABA. Când potențialul de membrană este hiperpolarizat de la nivelul său de repaus de -65mV la -70mV potențialul postsinaptic inhibitor (hiperpolarizarea) scade la zero.

Acest punct nul reprezintă pentru potențialul postsinaptic inhibitor potențialul inversat.



Ca și receptorii la ACh, receptorii GABA și glicină au multiple subunități, iar fiecare subunitate conține patru segmente membranare cheie.

Receptorii GABA și glicinici sunt similari cu receptorii la ACh deoarece, după cum era de așteptat, ei au canale anionice și nu cationice.

Astfel, în segmentul în care porii canalelor receptorilor la ACh au aminoacizi încărcăți negativ (glutamat, aspartat), receptorii GABA și glicinici au sarcini pozitive (lizină, arginină).

Miile de inputuri excitatoare și inhibitoare care ajung la un singur neuron central nu se adună împreună până la atingerea pragului (-55mV). Sumarea temporală și spațială a inputurilor într-o singură celulă depinde de proprietățile pasive ale celulei, în special de constantele timp și lungime și de localizarea sinapsei.

Astfel, sinapsele glutaminergice tind să fie localizate pe dendrite iar cele inhibitoare pe corpul celular. În final, integrarea de către celule a inputurilor se face la nivelul eminenței axonale, regiune a membranei corpului celular situată la nivelul segmentului inițial al axonului. Această regiune conține cea mai mare densitate de canale de  $\text{Na}^+$ , fapt datorită căruia are cel mai coborât prag pentru inițierea spike-urilor.

În modelele neuronale, arborele dendritic este reprezentat ca pol receptor, axonul ca porțiune conducătoare, iar partea terminală a axonului ca pol transmițător. Acest model relevă faptul că sistemul nervos este compus din receptori informaționali și unități transmițătoare. Totuși, multe regiuni cerebrale nu au o structură atât de simplă.

Asfel, există sisteme senzoriale și motorii, iar în multe regiuni cerebrale în afara faptului că celulele transmit informația, ele o și transformă.

Toate cele trei regiuni ale celulei nervoase (axon, corp celular, dendrite) pot constitui locuri receptive pentru contactele sinaptice. Cele mai comune tipuri de contacte sunt axoaxonic, axosomatic și axodendritic.

Sinapsele axodendritice pot fi întâlnite pe tulpina sau pe ramurile acesteia.

Contactele dendrodendritice și somasomatie sunt rare.

Curentul sinaptic generat la nivel axosomatic dă un semnal mai puternic și cu o influență mai mare asupra ieșirii de la nivelul trigger zone decât curentul provenit de la un contact axodendritic mai depărtat.

Adesea, sinapsele de pe corpul celular sunt inhibitoare, iar cele de pe ramurile dendritice sunt excitatoare.

Neuronii centrali au 20-40 dendrite principale, care se ramifică în procese dendritice fine. Fiecare ramură are două locuri majore pentru inputurile sinaptice, tulpina și ramurile. Ramurile au un colet și un cap bulbos.

Fiecare ramură are pe suprafața sa cel puțin o sinapsă.

În anumiți neuroni corticali ramurile au receptori și compartimente biochimice distincte.

Sinapsele de pe terminalul axonal sunt adesea modulatorie prin controlarea cantității de transmițător eliberată.

Sinapsele excitatoare și inhibitoare au și o ultrastructură distinctivă.

## Transmiterea sinaptică mediată de un al doilea mesager

După Schwartz și Kandel (1991) receptorii sinaptici au două funcții majore : recunoașterea unui transmițător specific și activarea efectorilor. Mai întâi receptorul recunoaște și se leagă de transmițătorul mediului extern al celulei, după care, drept consecință a legăturii, receptorul modifică biochimismul celulei. Astfel de receptori pentru neurotransmițători pot fi divizați în două grupe majore după modul în care receptorul și efectorul sunt cuplați și funcționează. În prima grupă (receptorii cu poartă directă pentru canalele ionice), în care o singură macro moleculă îndeplinește două funcții din domenii diferite (recunoașterea și acționarea directă asupra canalelor ionice) intră: receptorii acetilcolinici nicotinici, GABA, glicina, AMPA (Kainat-quisqualat) și NMDA (N-methyl-D-aspartate), clasa receptorilor glutamați.

În cealaltă grupă (cu poartă canaliculară indirectă sau cu receptori cuplați la proteina G) recunoașterea transmițătorului și activarea efectorului sunt îndeplinite de molecule separate. La fiecare membru din acest grup sau familie, molecula receptoare este cuplată cu molecula efectoră printr-o legătură proteică nucleotid guanizinică (proteina G). Pentru activarea componentei efectoră este necesară participarea a mai multor proteine distincte. Efectorul tipic este o enzimă care produce un mesager secund difuzibil, ca de exemplu cAMP (cyclic adenosine monophosphate), diacilglicerolul sau un polifosfat inozitolic. Acest al doilea mesager atrage la rândul său o cascadă biochimică, care activează în mod specific protein-kinaza, care fosforilează o varietate de proteine celulare sau mobilizează ionii de  $\text{Ca}^{2+}$  din depozitul intracelular, inițiind astfel reacții care modifică starea biochimică a celulei.

Uneori, proteina-G sau al doilea mesager (cAMP, cGMP, sau metaboliții acidului arahidonic) pot acționa direct asupra canalelor ionice.

Diferențele structurale dintre cele două familii de receptori se reflectă în funcția lor.

Canalele ionice cu poartă directă acționează rapid (milisecunde) pentru că ele implică modificarea conformației unei singure macromolecule. În contrast, receptorii legați de proteina G sunt înceți (sute de milisecunde sau secunde) și au un timp mai prelungit (secunde sau minute), deoarece cascada de reacții pe care o provoacă cere timp. Există aproximativ 100 substanțe care acționează ca transmițători, fiecare activând un receptor specific de pe suprafeța celulei. Totuși căile majore cu mesager secund sunt mult mai puține. Până în prezent au putut fi caracterizate numai patru din acestea. Primul mesager secund caracterizat a fost cAMP. Sutherland și colab. (1950) au descoperit că - cAMP reglează metabolismul hidraților de carbon la nivelul ficatului și mușchilor. Mai recent au fost descoperite alte două cascade care inițiază hidroliza fosfolipidelor în membrana celulei. Una din acestea produce doi mesageri, inozitol, polifosfatul și diacilglicerolul, iar cealaltă începe cu eliberarea acidului arahidonic.

În afara acestora, există receptori care activează tirozin-kinaza.



Funcția acestora la nivelul SN nu este bine înțeleasă.

Căile mesagerului secund pot uneori interacționa, una singură neputându-și exercita acțiunea reglatoare. Alteori, sistemul celui de-al doilea mesager modifică activitatea canalelor ionice prin fosforilarea canalelor proteice sau acționează direct asupra acestora.

Prin urmare, canalele ionice cu poartă directă operează mai rapid și sunt utilizate pentru procesele fiziologice care se desfășoară rapid (reflexul rotulian, comportamentul perceptiv și motor). Totuși, neuronii au și efecte reglatoare cu durată mai lungă asupra celulelor țintă.

Chiar contracția musculară susținută necesită o reglare neurală a metabolismului celulei musculare. Această reglare este obținută de mecanismele receptoare care debutează mai încet și au o perioadă mai lungă de timp. În integrarea centrilor, neuronii cerebrali utilizează forme de transmitere sinaptică rapidă și lentă prin utilizarea receptorilor cu porți canaliculare directe și cu al doilea mesager. Acțiunea sinaptică care blochează direct canalele ionice și deschide canalele închise de potențialul de repaus cresc invariabil conductanța generală a membranei postsinaptice. În contrast, acțiunea sinaptică mediată de al doilea mesager închide canalele ionice deschise de potențialul de repaus și scade conductanța membranei. În plus, prin blocarea canalelor ionice, al doilea mesager poate modifica starea biochimică a celulei nervoase.

### **Eliberarea transmitătorului**

Kandel (1991) afirmă că cele mai remarcabile activități cerebrale (memoria și învățarea) emerg din proprietățile elementare ale sinapselor chimice. Caracteristica distinctivă a sinapselor chimice se referă la faptul că potențialul de acțiune a terminalului presinaptic duce la secreția mesagerului chimic. Până în prezent am analizat proprietățile receptorilor postsinaptici, canalele ionice și stimularea prin cel de al doilea mesager pe care îl folosesc. În continuare vom examina componenta presinaptică a sinapsei, precum și modul de cuplare a procesului de secreție a neurotransmițătorului cu fenomenul electric de la nivelul terminalului presinaptic.

Utilizând sinapse gigante, Katz și Miledi (1967) au constatat că pentru transmiterea sinaptică nu este necesar nici influxul de  $\text{Na}^+$  și nici efluxul de  $\text{K}^+$ . Pentru eliberarea transmitătorului este esențial numai  $\text{Ca}^{2+}$ , care intră în celulă la nivelul terminalului presinaptic.

Întârzierea sinaptică, adică timpul dintre debutul potențialului de acțiune și eliberarea transmitătorului, reprezintă timpul necesar ionilor de  $\text{Ca}^{2+}$  intrați, să difuzeze la locurile lor de acțiune și să determine încărcarea transmitătorului în veziculele sinaptice. Facilitarea efectului  $\text{Ca}^{2+}$  asupra transmiterii sinaptice, este inhibată de  $\text{Mg}^{2+}$ , blocant al canalelor de  $\text{Ca}^{2+}$ .

Lucrând pe axoni giganți, Baker și colab.(1971) au constatat că fiecare potențial de acțiune produce un mic influx de  $\text{Ca}^{2+}$  prin canalele de  $\text{Ca}^{2+}$  cu poartă voltată. Analiza transmiterii sinaptice a fost facilitată mult de descoperirea

potențialului sinaptic miniatural spontan. Fiecare asemenea potențial este produs de eliberarea spontană a unei cantități de transmițător (aproximativ 1000-3000 molecule de ACh) dintr-o singură veziculă sinaptică. Mărima acestui potențial sinaptic miniatural (0,5-1mV) este în concordanță cu dimensiunea unității potențialului sinaptic care poate fi măsurată experimental în cazul în care  $\text{Ca}^{2+}$  extracelular este scăzut. Potențialele sinaptice mai mari evocate în astfel de condiții tind să fie integral multiplicare în unitatea potențială. Creșterea  $\text{Ca}^{2+}$  extracelular nu modifică mărimea potențialelor sinaptice spontane, și nici unitatea potențialului sinaptic.

Fără îndoială, el crește probabilitatea descărcării transmițătorului dintr-o veziculă sinaptică, în așa fel încât potențialele de acțiune evocă mai puține insuccese. La nivelul joncțiunii neuromusculare potențialul sinaptic normal (70mV) este dat de eliberarea a aproximativ 150 cuante de transmițător. La nivelul sinapselor neuronului central sunt eliberate ca răspuns la un singur potențial de acțiune mai puțin de 10 cuante (fiecare produce o depolarizare în jur de 100μV). Un singur buton sinaptic central difuzează în timpul activității -tot sau nimic- o singură cantitate de transmițător. Fiecare veziculă depozitează câte o singură cantitate de transmițător formată din mii de molecule. Veziculele fuzează cu suprafața internă a terminalului presinaptic, în locuri specifice de eliberare, unde se deschid în mod tranzitor și elimină conținutul în fanta sinaptică.

Couteaux și Pecot-Dechavassine (1970) au numit locurile specifice de eliberare, zone active. Suportul ultrastructural al ipotezei de transmitere sinaptică vine de la faptul că multe vezicule mici, clare sunt claustrate în jurul corpiilor denși, specializați, presinaptici, numiți zone active. În contrast, veziculele mari cu peptide nu sunt eliberate de zonele active. Pe suprafața presinaptică a unei sinapse nerv-mușchi există circa 300 de zone active. O fibră excitatoare aferentă unei celule ganglionare reticulare dorsale are numai patru terminații pe un neuron motor (fiecare având 2μm<sup>2</sup>) și conține numai o zonă activă.

Redman (1990) arată că fiecare capăt terminal nu eliberează mai mult decât o cantitate de transmițător.

Fiecare cantitate de transmițător produce un potențial postsinaptic de mărime fixă, numită unitate de potențial sinaptic. Potențialul sinaptic total provine din suma acestor potențiale. Fatt și Katz (1952) au descoperit natura cantală (quantal) a transmisiei. În timp ce făceau înregistrări din sinapsele neuromusculare ale broaștei, fără stimulări presinaptice, au observat prezența potențialelor spontane, potențiale de placă terminală miniaturală. Aceste potențiale miniaturale sunt reduse și în final abolite de agenții care blochează receptorii la ACh, cum este d-tubocurarina. Frecvența lor crește prin depolarizarea terminalului presinaptic. Potențialele miniaturale dispar în cazul degenerării nervului presinaptic și reapar o dată cu reinervarea, indicând că la nivelul părții terminale a nervului presinaptic se eliberează în mod continuu cantități mici de ACh. Potențialul miniatural al plăcii terminale reflectă deschiderea multor canale-receptor la ACh.

Katz și Miledi (1967) au estimat că potențialul elementar ACh produs de deschiderea unui singur canal receptor ACh este de numai 0,3μV sau în jur de



1/2000 din amplitudinea unui potențial miniatural spontan. Un potențial placă-terminală miniatural cere sumarea conductanțelor elementare a 2000 de canale.

Pentru deschiderea unui singur canal trebuie legate de receptor două molecule de ACh. În plus, o parte din ACh se pierde fie prin difuziune în afara fantei sinaptice, fie prin hidrolizarea acetilcolinesterazei. Astfel, pentru producerea unui potențial miniatural de placă terminală sunt necesare 5000 molecule.

Pentru prinderea veziculelor în actul exocitozei, Heuser și Ressel (1977) au efectuat experiențe cu înghețare rapidă care au arătat că veziculele fuzionează cu membrana presinaptică în vecinătatea zonelor active. De asemenea, de-a lungul zonelor active autorii au pus în evidență șiruri largi de particule intramembranare pe care le-au denumit canale-calcice. Aceste canale localizate pot fi responsabile de creșterea rapidă, de câteva mii de ori, a concentrației  $\text{Ca}^{2+}$  în axonul terminal, în timpul potențialului de acțiune. O ipoteză cu privire la modul în care  $\text{Ca}^{2+}$  duce la fuzionarea veziculelor susține că acesta dă naștere unui por care traversează vezicula și membrana, după care conținutul veziculei este eliberat în spațiul extracelular.

Datele recente relevă necesitatea  $\text{Ca}^{2+}$  atât pentru fuziunea veziculelor sinaptice cu zonele active, cât și pentru mobilizarea acestora în vederea eliberării conținutului.

Smith și colab. (1985) au demonstrat că influxul  $\text{Ca}^{2+}$  este de 10 ori mai mare în regiunea zonelor active decât în oricare altă parte a terminalului. În timpul potențialului de acțiune, concentrația  $\text{Ca}^{2+}$  crește în câteva sute de microsecunde de mii de ori la nivelul zonelor active. Astfel, de la nivelul bazal de 100 nM ajunge la 100  $\mu\text{M}$ . Această creștere rapidă a  $\text{Ca}^{2+}$  este necesară pentru eliberarea rapidă și sincronă a transmițătorului.

Numai o mică fracțiune a veziculelor mici sinaptice din terminalul sinaptic se află în zonele active de eliberare. Aceste vezicule legate de citoschelet cu ajutorul unei proteine de suprafață numită sinapsin sunt eliberate cu ajutorul calciului. Veziculele mari cu miez dens conțin neurotransmițători peptidici, dar nu au sinapsin pe suprafața lor și nu descarcă conținutul lor prin zonele active. Ele sunt mai mult vezicule depozit. Sinapsinul, proteină care ancorează veziculele de citoschelet, a fost descoperit de Sudhof și colab. (1989). În prezent sunt descrise patru sinapsine. Activitatea sinapselor chimice poate fi modificată pentru perioade lungi de timp, dar acțiunea sinaptică electrică nu. Această proprietate poartă numele de plasticitate sinaptică.

Din cauza strânsei dependențe între eliberarea transmițătorului și concentrația calciului intracelular, mecanismele din neuronul presinaptic, care afectează concentrația calciului liber din terminalul presinaptic, afectează și cantitatea de transmițător eliberată.

Prin urmare, cantitatea de transmițător eliberată din neuron nu este fixă, ea putând fi modificată de procese reglatoare intrinseci și extrinseci.

Stimularea cu frecvență crescută a neuronului presinaptic (500-1000 acțiuni potențiale pe secundă) poartă numele de stimulare tetanică.

Creșterea în dimensiune a potențialului postsinaptic în timpul stimulării tetanice poartă numele de potentare. Creșterea care persistă după stimularea

tetanică este numită potențare posttetanică. Această întărire durează câteva minute, dar ea poate persista o oră sau mai mult. Potențarea posttetanică apare ca rezultat a saturării tranzitorii cu diferite sisteme de tamponare a calciului din terminale (primar fiind reticulul endoplasmic și mitocondria) apărute acolo după marele influx din timpul potențialului de acțiune. Excesul de calciu permite mai multor vezicule sinaptice să se elibereze din zonele citoscheletale și să ajungă în locurile de eliberare. Ca rezultat, fiecare potențial de acțiune din neuronii presinaptici va permite eliberarea unei cantități mai mari de neurotransmițător decât înainte. Creșterea concentrației calciului liber produce modificări prelungite în activitatea celulei. Și conexiunile sinaptice de pe terminalele presinaptice reglează calciul liber intracelular. Sinapsele axonice pot deprima sau întârzi eliberarea transmițătorului prin intermediul inhibiției presinaptice sau al facilitării presinaptice. Terminalele presinaptice ale unui neuron, a căror eliberare este modulată, conțin receptori pentru diferiți neurotransmițători (receptori presinaptici). Anumiți receptori presinaptici, numiți autoreceptori, pot recunoaște și lega propriul transmițător celular. Sinapsele axoaxonice produc numeroase acțiuni, cea mai importantă fiind cea care controlează influxul calciului în terminale. Deosebirea între acțiunile sinaptice axoaxonice și axosomate (sau axodendritice) este importantă. Vom lua ca exemplu inhibiția. Când un neuron hiperpolarizează corpul celulei sau dendritele unui alt neuron, el diminuează șansa activării celulei postsinaptice. Această acțiune a fost numită inhibiție postsinaptică. Spre deosebire de aceasta, când un neuron contactează axonul terminal al unei alte celule, el poate reduce cantitatea de transmițător eliberată de a doua celulă în cea de-a treia. Această acțiune poartă numele de inhibiție presinaptică. Atâta timp cât acțiunile sinaptice axosomate afectează toate ramurile unui neuron postsinaptic (deoarece ele afectează probabilitatea ca un neuron să atragă un potențial de acțiune), acțiunile axoaxonice controlează în mod selectiv comportamentul ramurilor individuale ale neuronului. Din rațiuni necunoscute, modularea presinaptică din căile de influx senzorial tinde să se producă precoce. De exemplu, inhibiția presinaptică este întâlnită în nucleii de relație pentru informația senzorială legată de vedere, tact și sensibilitatea de poziție (în retină, măduvă și coloanele nucleare dorsale). Pentru inhibiția presinaptică au putut fi separate trei mecanisme. Unul este simultan închiderii canalelor calcice și deschiderii canalelor  $K^+$  cu poartă voltată care scad influxul calciului, întărind astfel repolarizarea celulei. În unii neuroni aceasta se datorează unui al doilea mesager specific și anume metabolismului lipoxigenazic al acidului arahidonic. Al doilea mecanism se referă la conductanța mărită pentru  $Cl^-$ , care diminuează (sau scurtcircuitează) amplitudinea potențialului de acțiune din terminalul presinaptic. Ca rezultat, se produce o depolarizare mai mică și sunt activate mai puține canale de calciu, de către potențialul de acțiune. Al treilea mecanism implică inhibiția directă a procesului de eliberare a transmițătorului independent de influxul de  $Ca^{2+}$ .

În contrast, facilitarea presinaptică poate fi cauzată de accentuarea influxului de  $Ca^{2+}$  (Kandel și colab. 1991). Prin urmare, reglarea calciului liber la nivelul terminalului presinaptic stă la baza unei varietăți largi de mecanisme care



determină plasticitatea sinapselor chimice. Deținem puține date cu privire la modificările pe termen scurt la nivelul sinapselor efectoare, modificări care durează minute sau ore, aflându-ne abia la începutul cercetărilor cu privire la modificările pe termen lung care persistă zile, săptămâni sau mai mult. Se pare că aceste modificări pe termen lung cer, în afara modificării influxului de  $\text{Ca}^{2+}$  și a accentuării eliberării din sinapsele preexistente, dezvoltarea și mărirea numărului sinapselor.

### **Transmiterea inputurilor la celulele țintă prin canalele dirijate (cu poartă) se face prin convertirea din nou a semnalelor chimice în semnale electrice**

Neurotransmițătorul eliberat traversează rapid spațiul sinaptic și se leagă de receptorii acestuia concentrați în membrana postsinaptică a celulei țintă. Legarea neurotransmițătorului de receptorii săi duce la schimbarea potențialului de membrană a celulei țintă și la declanșarea unui potențial de acțiune.

Neurotransmițătorul este îndepărtat fie prin degradarea sa de către enzimele fantei sinaptice, fie prin reabsorbția sa în terminalul nervos care îl eliberează sau de către celulele din jur.

Receptorii neurotransmițătorului pot fi de diferite tipuri. Unii mediază efectele relativ lente în celula țintă în timp ce alții mediază răspunsurile mai rapide. Răspunsurile rapide, de milisecunde, depind de receptorii care au canale ionice cu transmitere dirijată (cu poartă). Aceștia fac parte din subclasa canalelor ionice cu ligant dirijat iar funcția lor este aceea de a converti semnalele chimice aduse direct de neurotransmițător iarăși în semnale electrice.

Ca răspuns la unirea receptorilor cu transmițătorul, canalele se deschid tranzitor iar permeabilitatea membranei postsinaptice se modifică față de ioni. La rândul lor, aceste schimbări duc la modificarea potențialului membranal.

Când aceasta este destul de mare poate declanșa în celula postsinaptică o acțiune potențială.

### **Istoricul descoperirii neurotransmițătorilor**

În contrast cu studiile activității electrice ale sistemului nervos, studiile biochimice ale acestuia au început mult mai târziu.

Un pas decisiv a fost făcut în jurul anului 1900 de către școala engleză de fiziologe a lui John Langley care a cercetat nervii autonomi ai organelor interne. Langley împreună cu elevii săi au constatat că stimularea electrică a acestor nervi produce modificări caracteristice de tipul tahicardiei și hipertensiunii arteriale care mimau pe cele determinate de injectarea extractului de glandă adrenală.

În anul 1904 Elliot, student al lui Langley în vârstă de 26 de ani la British Medical, a făcut o comunicare, la Societatea de Fiziologie, în care postula că impulsurile nervilor autonomi duc la eliberarea, la nivelul terminalelor acestora, a unei substanțe asemănătoare epinefrinei din glanda adrenală.

În același an Langley a demonstrat că celulele glandulare au substanțe inhibitoare și excitatoare care determină activitatea organelor interne. Aceste cercetări erau departe de realitatea sugerării legăturilor chimice dintre neuroni, de dependența lor de activitatea impulsurilor electrice și de existența moleculelor receptor sinaptice.

În anul 1921, Loewi a dovedit că nervul vag inhibă activitatea cardiacă prin eliberarea acetilcolinei. Lucrările lui Dale și colab. din anii 1930 au probat că acetilcolina se comportă ca o substanță neurotransmițătoare atât la nivelul ganglionilor autonomi, cât și la nivelul joncțiunii dintre nervii și mușchii scheletici. Punerea în evidență a complexelor sinaptice, analizarea constituenților biochimici era inaccesibilă tehnicii de omogenizare a creierului.

Vizualizarea monoaminelor, a aminelor biogenice și deci identificarea substanțelor neurotransmițătoare din fiecare neuron și de la terminalele acestuia, a devenit posibilă în jurul anilor 1960 după introducerea tehnicii prin fluorescență.

Punerea în evidență a receptorilor și, prin urmare, activarea celui de-al doilea sistem mesager a fost realizată în jurul anului 1970. Tot prin anii '70, a fost identificată o varietate largă de peptide mici cu acțiune trofică asupra dezvoltării neuronale și cu acțiune modulatorie asupra transmiterii sinaptice și asupra celui de-al doilea sistem mesager.

Sistemul celui de-al doilea mesager include moleculele care fac legătură funcțională între receptorii primului mesager și mecanismul efector din celulele receptoare (processe metabolice, canale ionice, etc). Prin urmare, activarea unui receptor duce la modificarea membranei și la producerea directă sau indirectă a unui mesager intracelular secund necesar pentru transmiterea mesajului în mediul intracelular.

În sistemul nervos central există doi mesageri secunzi reprezentativi: adenzin monofosfatul ciclic (cAMP) și guanozin monofosfatul ciclic (cGMP) care sunt sintetizați de adenilat ciclază și respectiv de guanilat ciclază. Substratul acestor enzime este ATP-ul și GTP-ul. Până în anii '70 au fost descoperiți 6 neurotransmițători: noradrenalina, dopamina, serotonina (toate monoamine), acetilcolina (amină terțiară), GABA și glutamatul (aminoacizi).

Acum, la această listă se adaugă încă aproximativ 200 neurotransmițători dar al căror rol cerebral nu este încă bine cunoscut.

Aceste descoperiri au dus la identificarea și explicarea celor mai simple sinapse, joncțiunile neuromusculare, precum și a sinapselor centrale cu acțiune rapidă excitatoare și inhibitoare.

Prezența neurotransmițătorilor presupune și existența receptorilor caracteristici. Neuronii primesc, pe calea sinapselor, inputuri multiple dar membranele lor dendritice și somatice posedă receptori pentru fiecare tip de input. Terminalul unui axon eliberează în spațiul sinaptic un anumit neurotransmițător care difuzează spre membrana postsinaptică unde se combină cu receptorul specific. Există receptori și pe terminalul presinaptic (autoreceptori) care printr-un mecanism feedback negativ reglează cantitatea de neurotransmițător eliberată de acesta. Trebuie amintită și existența câtorva forme de receptori pentru același neurotransmițător.



## Mesageri chimici, micile molecule și peptidele

Deși utilizarea tradițională a structurilor anatomice ca unități funcționale n-a fost înlocuită, trebuie știut faptul că același comportament se află atât sub dependența unui substrat anatomic, cât și a unui neurochimic. Creierul posedă atât neuroni, cât și neurotransmițători, astfel încât orice comportament are la bază componente anatomice și componente neurochimice.

Căile anatomice cerebrale interconectate sunt definite nu numai de structura lor anatomică, dar și de transmițătorii lor sinaptici. Când luăm în considerație căile neurotransmițătoare, trebuie să avem în vedere subseturile celulare care se conformează unui anumit tipar și unor anumite direcții. O cale înglobează mii de axoni, care pleacă de exemplu de la nucleii trunchiului cerebral (bulb. punte, pedunculi) și se îndreaptă către diferite regiuni ale creierului anterior (nuclei bazali, sistem limbic, cortex cerebral). În traiectul lor, acești axoni emit colaterale pentru structurile vecine. Acești neuroni eliberează același sau aceiași neurotransmițători la terminațiile lor sinaptice.

Histochimiștii au descoperit că neuronii ale căror corpuri celulare se adună la un loc în trunchiul cerebral și ai căror axoni formează o cale bine definită utilizează aceeași neurotransmițători. Astfel, a devenit posibilă identificarea unui mare număr de căi neuronale ascendente formate din axoni, care pornesc de la grupele celulare ale trunchiului cerebral și ajung la creierul anterior.

Diferențierea căilor și identificarea precisă a originii și terminării lor se face pe baza neurotransmițătorului pe care-l folosesc.

Transmiterea sinaptică chimică este forma predominantă de comunicare sinaptică din creier. Există totuși două tipuri majore de transmitere chimică, ce diferă după receptorii postsinaptici care sunt activați.

Primul tip se referă la receptorii postsinaptici care barează direct canalele ionice iar al doilea acționează indirect prin intermediul unui mesager secund. Receptorii care barează direct canalele ionice sunt cel mai bine studiați la nivelul sinapselor dintre neuronii motori și fibrele musculare scheletice, unde excitația sinaptică este mediată de ACh.

Când un potențial de acțiune ajunge în regiunea terminală a unui neuron, el stimulează eliberarea pachetelor de transmițător chimic.

Transmițătorii pot fi mici molecule înrudite cu aminoacizii, de tipul L-glutamatului sau acetilcolinei, sau pot fi peptide asemănătoare enkefalinului. Aceste molecule transmițătoare, constituite în organite subcelulare numite vezicule, sunt adunate în locuri specializate de eliberare din terminalele presinaptice, numite zone active. Transmițătorul este eliberat din veziculele sale după unirea acestora cu suprafața membranei, proces cunoscut sub numele de excitoză. Eliberarea transmițătorului chimic servește ca semnal de ieșire. Cantitatea de transmițător eliberată este în funcție de numărul și frecvența potențialelor de acțiune. Transmițătorul eliberat de neuronul presinaptic difuzează prin fanta sinaptică până la celula postsinaptică în care dă naștere unui potențial inhibitor sau excitator, fapt

care depinde de receptorul postsinaptic și de curentul fluxului inițiat de această proteină (Kandel, 1991).

În general, transmiterea chimică se face în patru etape: două presinaptice și două postsinaptice. Aceste etape sunt: 1) sinteza substanței transmițătoare, 2) depozitarea și eliberarea transmițătorului, 3) interacțiunea transmițătorului cu receptorul membranei postsinaptice și 4) înlăturarea transmițătorului din fanta sinaptică.

Anterior am analizat etapele 2,3 și 4, adică eliberarea transmițătorului și interacțiunea sa cu receptorul postsinaptic. În continuare ne ocupăm de natura și sinteza moleculelor utilizate de transmițători și de modul în care veziculele sistemului membranal sunt utilizate de neuroni pentru a elibera mesagerii chimici. Chiar dacă multe molecule de transmițător sunt sintetizate local la capătul prelungirii neuronale, și celelalte părți ale neuronului contribuie în mod semnificativ la acest proces (Schwartz, 1991). Majoritatea micilor molecule transmițătoare ale neuronului sunt sintetizate local, la nivelul terminalelor, dar corpul celulelor neuronale care utilizează peptide ca mesageri chimici trebuie să aprovizioneze terminalele cu peptide și cu vezicule în care peptidele sunt prelucrate și împachetate. După sintetizarea acestora în interiorul corpului celular, componentele macromoleculare sunt rapid deplasate de-a lungul axonului către terminalul nervos prin transport axonal rapid.

Mesagerii chimici trebuie să îndeplinească 4 condiții pentru a intra în grupa transmițătorilor. Conceptul de transmitere chimică a devenit familiar prin anii '30, după ce Loewi a demonstrat eliberarea acetilcolinei (ACh) din terminalele vagului în inima de broască și după ce Dale (1935) a raportat studiile sale cu privire la transmiterea adrenergică și colinergică. De atunci, ideea cu privire la transmițători a fost modificată în mod continuu, pentru a-I pune în acord cu noile achiziții ale biologiei neuronului și ale farmacologiei receptorilor.

Ca primă aproximație, un transmițător poate fi orice substanță eliberată de neuron la nivelul sinapsei, care influențează altă celulă (neuron sau organ efector) într-o manieră specifică.

Este dificil de probat că toate substanțele care operează la nivel sinaptic sunt într-adevăr transmițătoare. Pentru elucidare au fost fixate patru criterii de definire a unui transmițător sinaptic: 1) să fie sintetizat de neuron; 2) să fie prezent la nivelul terminațiilor presinaptice și să fie eliberat în cantitate suficientă pentru a-și exercita acțiunea asupra neuronilor postsinaptici sau asupra organelor efectoare; 3) să mimeze exact acțiunea transmițătorului eliberat endogen (să activeze aceleași canale ionice sau calea unui al doilea mesager de la nivelul celulei postsinaptice) în cazul în care aplicăm pe cale exogenă un medicament, în concentrație rezonabilă; 4) să existe un mecanism specific de înlăturare a lui de la locul de acțiune (fanta sinaptică).

Adesea este dificil de demonstrat experimental toate aceste caracteristici la nivelul unei anumite sinapse.

Multe celule nervoase sunt caracterizate după biochimia transmițătorului lor. Un neuron matur face uz de aceeași substanță transmițătoare la nivelul tuturor



sinapselor sale. Această generalizare bazată e lucrările lui Dale a fost formulată în 1957 ca principiu de către Eccles.

Legea lui Dale nu poate fi aplicată unor neuroni dezvoltați care s-au dovedit a sintetiza și elibera mai mult decât o substanță neurotransmițătoare, deoarece, unii neuroni maturi conțin mai mult decât un mesager chimic. Această situație, denumită vag coexistentă, implică aproape întotdeauna un transmițător cu greutate moleculară mică și o peptidă neuroactivă. Din aceeași celulă neuronală pot fi eliberate peptide neuroactive diferite, deoarece peptidele tipice provin dintr-o întinsă gamă de precursori poliproteici.

Prin urmare, pentru a conserva importanța biologiei celulare, principiul lui Dale și Eccles asupra specificității neuronale trebuie reformulat în sensul că un neuron utilizează aceeași combinație de mesageri chimici la nivelul tuturor sinapselor sale. Astfel, neuronii adulți pot fi diferențiați, dar aparatul lor biochimic specific acestor neurotransmițători rămâne prezent.

În consecință, un neuron matur este înzestrat cu un set exclusiv de procese biochimice, care îl diferențiază de ceilalți.

### Substanțe neurotransmițătoare

În sistemul nervos sunt produse numeroase substanțe neurotransmițătoare, fiecare neuron eliberând unul sau chiar mai multe din acestea.

Neurotransmițătorii sunt împărțiți în două grupuri. Din primul grup fac parte mediatorii cu moleculă mică și acțiune rapidă. Al doilea grup cuprinde un mare număr de neuropeptide cu dimensiune moleculară mult mai mare și cu acțiune mult mai lentă. Neurotransmițătorii din primul grup sunt implicați în majoritatea răspunsurilor prompte ale sistemului nervos, cum ar fi transmiterea semnalelor senzoriale spre centrii nervoși și a semnalelor motorii înapoi în mușchi. Pe de altă parte, neuropeptidele produc acțiuni prelungite, de tipul modificării pe termen lung a numărului receptorilor, închiderii de durată a canalelor ionice, sau a schimbării pe termen lung a numărului sinapselor.

În sfera neurotransmițătorilor putem include: acetilcolina care stimulează contracția mușchilor scheletici; un grup de substanțe numite monoamine (epinefrina, norepinefrina, dopamina și serotonina), provenite din molecule de aminoacizi modificate; numeroși aminoacizi (glicina, acidul glutamic, acidul aspartic și acidul gamaaminobutiric-GABA) și un mare grup de peptide, fiecare din ele constând dintr-un lanț relativ scurt de aminoacizi. Aceste substanțe sunt sintetizate de obicei în citoplasma butonilor sinaptici și înmagazinate în veziculele sinaptice.

Când un potențial de acțiune trece peste membrana butonului sinaptic, acesta produce o creștere a permeabilității membranei pentru ionii de calciu, prin deschiderea canalelor ionice de calciu. În consecință, ionii de calciu difuzează în interior, iar ca răspuns față de prezența lor unele vezicule sinaptice fuzionează cu membrana și eliberează conținutul lor în fanta sinaptică. După eliberare, unii neurotransmițători sunt distruși de enzimele prezente în despicătura sinaptică, iar

alții sunt transportați din nou în butonul sinaptic, sau sunt preluați de către celulele nevrogliale și duși la neuronii din vecinătate.

De exemplu, acetilcolina este descompusă de enzima colinesterază, prezentă la nivelul membranei sinapselor care utilizează acest neurotransmițător.

Monoaminele neurotransmițătoare sunt inactivate în mod similar de către enzima monoaminoxidază din mitocondrii.

Această distrucție sau înlăturare a substanțelor neurotransmițătoare prezintă importanță deoarece împiedică stimularea continuă a neuronilor postsinaptici.

Se presupune că la fiecare impuls nervos se degajă și se pun în mișcare aproximativ un milion molecule de acetilcolină. Pentru ca enzimele (contrasubstanțele) să devină eficiente și să asigure preluarea continuă de către membrana postsinaptică a influxului de la nivelul membranei presinaptice, este necesar ca ele să fie produse în cantitate suficientă și să acționeze rapid asupra substanțelor neurotransmițătoare.

Experimental s-a dovedit că enzima colinesterazică este produsă într-o cantitate de cinci ori mai mare decât necesarul minim, iar viteza ei de reacție este foarte crescută. O moleculă de colinesterază hidrolizează o moleculă de acetilcolină în 30  $\mu$ s. Această rapiditate a reacției de hidroliză este suficient de mare pentru a asigura funcționarea optimă a mecanismului sinaptic. În principiu, se poate afirma că sinapsa funcționează ca un sistem cu telecomandă chimică. Dintre toate sinapsele, cel mai complet studiată și cel mai bine înțeleasă este joncțiunea neuromusculară. Între cele două clase sunt deosebiri biochimice fundamentale.

TABEL NR. 1

#### Transmițători cu moleculă mică

- 
- Acetilcolina
  - Amine biogenice
    - Dopamina
    - Norepinefrina
    - Epinefrina
    - Serotonina
    - Histamina
  - Aminoacizii
    - Acidul gamaamino-butyric
    - Glicina
    - Glutamatul
- 

Substanțele transmițătoare cu moleculă mică sunt puține. Clasic sunt acceptate opt substanțe transmițătoare cu greutate moleculară mică. Toate sunt amine, iar șapte sunt aminoacizi sau derivați ai acestora. Acești mesageri au multe asemănări biochimice. Toți au molecule mici și se formează pe căi biosintetice



relativ scurte din precursori care derivă în ultimă instanță din substratul carbohidrat major al metabolismului intermediar. Ca și celelalte căi ale metabolismului intermediar, sinteza acestor neurotransmițători este catalizată de enzime, care aproape fără excepție sunt citozolice.

Fiecare transmițător cu moleculă mică utilizat de un neuron este determinat de setul specific de enzime biosintetice. Setul specific de enzime biosintetice este necesar, dar nu reprezintă un determinant suficient al specificității transmițătorului, deoarece între sinteza transmițătorului și eliberarea sa sinaptică intervin și alte procese biochimice. În toate căile transmițătoare și în orice cale biosintetică există o treaptă enzimatică, ce reglează sinteza transmițătorului. Controlul enzimatic este caracteristic neuronului, înzestrând celula cu proprietatea de a fi colinergică, norepinefrinergică, (noradrenergică), dopaminergică, serotoninergică, etc.

### Acetilcolina (ACh)

Acetilcolina este singura substanță transmițătoare cu greutate moleculară mică care nu este nici aminoacid nici derivat al acestuia.

Calea biosintetică a ACh are o singură reacție enzimatică catalizată de colin-acetiltransferază. Această transferază este caracteristică și determinantă pentru sinteza ACh. Sistemul nervos nu poate sintetiza colina. Aceasta este preluată din alimente, și distribuită apoi neuronilor pe calea curenților sanguini. Acetilcolina este secretată de neuroni din multiple arii cerebrale, dar în mod specific de celulele piramidale mari din cortexul motor, de diverși neuroni din ganglionii bazali, de neuronii motori ce inervează mușchii scheletici, de neuronii preganglionari din sistemul nervos vegetativ, de neuronii postganglionari din sistemul nervos parasimpatic și de unii neuroni postganglionari din sistemul nervos simpatic. În nucleii bazali există multe celule care sintetizează ACh, iar acești neuroni dau numeroase proiecții către cortexul cerebral. Lewis și Shute (1967) au identificat în creier două sisteme colinergice majore : unul reticulat ascendent, continuare a formațiunii reticulate din trunchiul cerebral și altul limbic centrat pe hipocamp.

Sistemul colinergic reticulat ascendent prezintă două căi tegmentale separate: una dorsală și una ventrală. Calea dorsală, cu origine în nucleul cuneiform din mezencefal, se duce la nucleul geniculat lateral, la talamus și la globus palidus. Calea ventrală, cu originea în regiunea tegmentală ventrală a mezencefalului anterior, ajunge la hipotalamus, corpii mamilari și globus palidus. De la hipotalamus, fibrele se duc la nucleul caudat, la putamen și de aici la sept și diferite regiuni neocorticale.

Sistemul colinergic limbic are corpii celulari în sept, iar axonii acestuia trec prin fornix către hipocamp. De la hipocamp își continuă drumul către creierul anterior și mezencefal.

Acțiunea centrală a activității colinergice se manifestă asupra trezirii corticale și comportamentale. Stimularea electrică a formațiunii reticulate trezește o pisică adormită și transformă un EEG de somn în unul desincronizat de trezire. Desincronizarea corticală este produsă de eliberarea acetilcolinei, iar stimularea

reticulată mărește activitatea căilor colinergice ascendente prin eliberarea la nivelul punctelor de conectare a acestora cu cortexul a unei cantități crescute de acetilcolină. Cantitatea de ACh produsă este proporțională cu gradul desincronizării EEG (Kanai și Szerb, 1965). Lezarea formațiunii reticulate duce la diminuarea cantității de ACh eliberată la nivel cortical (Pepeu, 1972). Se pare că ACh joacă un rol esențial nu numai în reglarea activității corticale, ci și în prelucrarea stimulilor aferenți.

În doze mici, fiziologice, ACh exercită efecte parasimpatomimetice (muscarinice) și de facilitare a transmiterii sinaptice centrale și periferice (nicotinice), iar în doze mari produce efecte duble atât excitante cât și deprimante, însoțite de blocaj sinaptic tranzitoriu. De cele mai multe ori, acetilcolina are efect excitator, totuși se știe că exercită și un efect inhibitor pe unele terminații periferice parasimpatice, cum ar fi inhibiția cordului de către nervii vagi.

Antagoniștii acetilcolinei - atropina și scopolamina - înrăutățesc capacitatea animalului de a diferenția intensitatea stimulilor luminoși și auditivi, reducând raportul semnal/zgomot (Warburton, 1977). Acest fapt sugerează că funcționarea normală a căilor reticulate ascendente colinergice duce la modularea trezirii corticale generale și la înregistrarea adecvată a semnalelor specifice. Dacă această funcționalitate este blocată, semnalele se confundă cu zgomotul de fond, rămânând astfel nedetectate.

Calea colinergică limbică, septohipocampică, implică ACh în funcția neurofiziologică și comportamentală a acestor formațiuni. Undele teta, caracteristice hipocampului, pot fi induse de agonii ACh. După Douglas (1975) leziunile hipocampice și medicamentele colinergic-blocante produc inhibiție comportamentală.

În ultimii ani s-a acordat o deosebită atenție relației dintre acetilcolina cerebrală și demență. Un simptom cheie al demenței senile este amnezia, iar studiile post mortem al acestor cazuri au relevat o pierdere semnificativă a ACh cerebrale. Totuși, încercările de redresare a memoriei cu agonii colinergici nu au dat rezultate în cazul pacienților senili. Însă, la acești bolnavi și comportamentul ca răspuns la semnale-stimul din mediul înconjurător este inhibat. Prin urmare, există o interdependență sigură între sistemul colinergic septohipocampic, memorie și inhibiția comportamentală.

Transmițători de tipul aminelor biogenice (dopamina, norepinefrina, epinefrina, serotonina, histamina).

Termenul de amină biogenică, imprecis din punct de vedere chimic, este utilizat de zeci de ani pentru desemnarea anumitor neurotransmițători. În acest grup sunt incluse catecolaminele derivate din aminoacidul tirozinic (dopamina, norepinefrina, epinefrina) și din cel triptofanic (indolamina, serotonina). Deoarece histamina este un imidazol, biochimia sa este separată, neînrudită cu cea a catecolaminelor și indolaminelor.

Catecolaminele sunt substanțe care au un nucleu catecol și un inel de benzen 3,4-dihidroxilat.

În categoria transmițătorilor catecolaminici intră: dopamina, norepinefrina și epinefrina. Acești trei transmițători sunt sintetizați pe cale biosintetică comună,



din aminoacidul tirozină care utilizează cinci enzime: tirozin-hidroxilaza, decarboxilaza aminoacidului aromatic, beta-hidroxilaza dopaminică, pteridin-reductaza și feniletanolamin-N-metil transferaza (Schwartz, 1991).

## Dopamina (DA)

Prima enzimă, tirozin-hidroxilaza este o oxidază care convertește tirozina în L-dihidroxyfenilalanina (L-DOPA). Această enzimă joacă un rol limitat în sinteza dopaminei și norepinefrinei. Ea este prezentă în toate celulele care produc catecolamine, împreună cu un cofactor de pteridină redus (Pt-2H), generat de pteridină (Pt) cu ajutorul altei enzime, pteridin reductaza. Această reductază nu este specifică neuronilor. L-DOPA este apoi decarboxilată de către o decarboxilază în dopamină și  $\text{CO}_2$ .

Până în prezent s-a stabilit că dopamina are trei căi majore.

○ Prima pornește de la substanța neagră mezencefalică și ajunge la corpul striat din ganglionii bazali și la nucleul amigdaloid.

○ A doua cale pornește de la corpii celulari din apropierea substanței negre și se termină în tuberculul olfactiv al sistemului limbic. Terminațiile dopaminice corticale sunt extensii ale acestei căi mezencefalolimbice.

○ A treia cale este reprezentată de o colecție hipotalamică densă de corpi celulari dopaminici. Aceștia sunt implicați în controlul secrețiilor glandei pituitare (Green, 1987). Sistemul tuberoinfundibular pare să fie în întregime independent de celelalte două căi. În mod normal, el inhibă eliberarea de prolactină din lobul anterior al glandei pituitare. Agoniștii dopaminei (amfetamina și apomorfina) reduc în continuare nivelul prolactinei de repaus. Medicamentele care blochează dopamina produc o creștere imediată a nivelului prolactinei.

Căile negro-striate și mezencefalo-limbico-corticale au o comportare mai complexă. Primul sistem, nigro-striat este reprezentat de un tract bine definit, care pornește de la substanța neagră și ajunge până la striat. De mult timp se știe că el este implicat în boala Parkinson. La decedații cu boala Parkinson s-a descoperit o marcată degenerare a substanței negre, a striatului și o diminuare evidentă a cantității de dopamină. Ca majoritatea celorlalte structuri cerebrale, tractul nigro-striat este reprezentat bilateral. Cele mai multe medicamente antischizofrenice acționează ca antagoniști ai dopaminei.

La șobolanii lezați în regiunea negrostriată, acțiunea amfetaminei este blocată. Dată fiind asocierea între parkinsonism și pierderea dopaminei nigro-striate, este de așteptat ca blocații dopaminei să producă parkinsonism. Astfel, tratamentele prelungite cu medicamente neuroleptice produc consistent efecte secundare extrapiramidale. Aceste efecte nu apar după toate neurolepticele. De exemplu, în cazul tratamentelor cu tioridazină incidența simptomelor extrapiramidale este foarte mică. Acest fenomen a fost atribuit proprietăților anticolinergice pe care le are tioridazina. Efectele secundare ale celorlalte neuroleptice pot fi controlate prin combinarea tratamentului cu medicamente anticolinergice. Explicația

interacției dopamină/acetilcolină se află în circuitul sistemului extrapiramidal. Axonii dopaminici, care provin din substanța neagră, formează sinapse în striat pe neuronii colinergici.

Dopamina eliberată de terminațiile presinaptice are în stare normală o acțiune inhibitoare asupra neuronilor colinergici. De regulă dopamina produce inhibiție.

În parkinsonism sau în cazul blocării dopaminei de către medicamentele neuroleptice, se diminuează activitatea căii nigro-striate, iar neuronii colinergici nu mai pot fi inhibați. Prin urmare, simptomele extrapiramidale se datorează neuronilor colinergici supraactivi din striat (în special din nucleul caudat).

Calea nigro-striată este implicată nu numai în funcțiile motorii extrapiramidale, dar și în alte aspecte specifice ale comportamentului, cum ar fi mâncatul și băutul.

Efectele secundare ale neurolepticelor de blocare a dopaminei striatale pot fi ameliorate, fără afectarea funcției antipsihotice, cu medicamente anticolinergice sau cu L-DOPA. Dacă acțiunea antipsihotică ar depinde de blocarea dopaminei, aceasta nu ar putea fi dată și de blocarea dopaminei striate, deoarece anularea acesteia nu afectează acțiunea antipsihotică a medicamentului. Se pare că în astfel de cazuri este vorba de dopamina din calea mezolimbică. Este cunoscut faptul că sistemul limbic și cortexul reglează cogniția, învățarea, memoria și emoția, iar lezarea acestei arii poate produce foarte ușor simptomele căderii schizofrenice. Una din cele mai interesante ipoteze relevă faptul că cele două căi dopaminergice operează în mod analog, dar în sfere diferite ale comportamentului.

Sistemul nigro-striat reglează puterea de răspuns a ganglionilor bazali (inclusiv striatul) la comenzile motorii corticale. Funcția ganglionilor bazali este aceea de a converti comenzile motorii în acțiuni, astfel încât calea ascendentă a dopaminei să controleze transformarea planurilor motorii în acțiuni și să moduleze capacitatea de răspuns a ganglionilor bazali.

Calea mezolimbică face același lucru, dar pentru acțiuni preconștiente și fantezii.

În orice moment comportamentul nostru este dominat de conștient, de idei sau de intenții, calea dopaminică ascendentă fiind aceea care controlează emergența acestora.

Lezarea căii nigro-striate duce la apariția tulburărilor motorii extrapiramidale prin pierderea inhibiției răspunsului motor. Lezarea căii mezolimbice duce la pierderea inhibării gândirii și la dominarea experienței conștiente de fluxuri necontrolate de idei și fantezii. Aceste ipoteze sunt greu de controlat experimental prin faptul că diversele căi eurotransmițătoare ascendente sunt extrem de apropiate una de alta, deși au origini și terminații diferite. Plasarea electrozilor în aceste căi, sau lezarea lor este greu de realizat (Crow 1973, Stevens 1977, ).

### Norepinefrina (noradrenalina)

A treia enzimă din secvența precedentă este dopamin beta-hidroxilaza, care convertește dopamina în norepinefrină. În SNC norepinefrina este utilizată ca



transmițător de către celulele nervoase al căror corp celular este localizat în locus ceruleus (nucleu al trunchiului cerebral).

Deși acești neuroni sunt relativ puțini la număr, ei trimit proiecții difuze către întreg cortexul cerebral, către cerebel și către măduva spinării. În sistemul nervos periferic, norepinefrina este transmițătorul neuronilor postganglionari, care aparțin sistemului nervos simpatic. În medulara suprarenală, în afara celor patru enzime biosintetice, catecolaminergice, există și a cincea enzimă denumită feniletanolamin-N-metil transferaza, care prin metilarea norepinefrinei duce la apariția epinefrinei. Se pare că unii neuroni cerebrali utilizează ca transmițător epinefrina. Nu toate celulele care eliberează catecolamine exprimă toate cele cinci enzime biosintetice, dar cele care eliberează epinefrina au această posibilitate. Astfel, neuronii care utilizează norepinefrina nu exprimă metiltransferaza, iar cei care eliberează dopamina nu exprimă transferaza sau dopamin- $\beta$ -hidroxilaza. Expresia genelor care codifică enzimele și care sintetizează catecolaminele poate fi reglată independent. Genele pentru aceste enzime (tirozin-hidroxilaza, dopamin- $\beta$ -hidroxilaza și feniletanolamin-N-metiltransferaza) par a fi situate pe același cromozom. Și alte amine naturale derivate din catecolamine sunt considerate ca transmițători. Astfel, s-a constatat că tiramina și octopamina sunt și ele active la nivelul sistemului nervos al vertebratelor (Schwartz, 1991).

În creier există două căi adrenergice majore: o cale ventrală și una dorsală.

Calea ventrală cu origine bulbară și pontină, pe măsură ce urcă în creier inervează regiunea mezencefalică și formațiunea reticulată de la acest nivel, pentru ca în final să se ajungă la hipotalamus unde inervează toți nucleii.

Calea dorsală își are originea în locus ceruleus din partea inferioară a punții. Pe măsura trecerii spre diencefal, această cale dă ramificații talamice și hipotalamice, pentru ca în final să ajungă la hipocamp, amigdală și cortexul cerebral. Majoritatea sau chiar toate structurile cerebrale primesc aferente de la calea norepinefrinică dorsală. Din locus ceruleus pornesc și fibre descendente destinate nucleilor inferiori ai trunchiului cerebral și cerebelului.

În general, calea ventrală este implicată în funcția hipotalamusului, iar cea dorsală în funcția sistemului limbic și a cortexului cerebral. Prin urmare, norepinefrina contribuie la reglarea funcțiilor cognitive (pe calea cortexului cerebral), afective (prin intermediul sistemului limbic care controlează expresia emoțiilor), autonome și endocrine (prin intermediul hipotalamusului).

Norepinefrina, mediator sinaptic și hormon suprarenal produce vasoconstricție puternică și hipertensiune arterială. Norepinefrina cerebrală mediază excitarea, fapt demonstrat cu ajutorul agoniștilor de tipul amfetaminelor, care au efecte stimulatoare (Stein, 1968).

Diminuarea cantității de norepinefrină cerebrală cu 70-80% nu împiedică achiziționarea modelelor motorii dificile (Mason și Iversen, 1977).

Animalele cu leziuni ale căii norepinefrinice dorsale prezintă rezistența la extincție, menținând nivele ridicate ale răspunsului în absența întăririi (Mason și Iversen, 1977, Mason și Fibiger 1978).

Acest transmițător are un rol important în procesul de învățare. S-a mai afirmat că norepinefrina contribuie și la selectarea stimulilor importanți pe care-i consideră demni de o analiză ulterioară. Mai certă este implicarea căii ventrale în funcția hipotalamică.

Prin urmare, norepinefrina este secretată de numeroși neuroni din trunchiul cerebral și din hipotalamus. Neuronii secretori de noradrenalină din locus ceruleus din punte trimit fibre nervoase spre arii întinse ale creierului și ajută la controlul activității globale și a tonusului muscular. În mare parte, în aceste zone noradrenalina activează probabil receptorii excitatori dar în unele regiuni îi activează pe cei inhibitori.

Norepinefrina mai este secretată și de majoritatea neuronilor postganglionari ai sistemului nervos simpatic, unde excită anumite organe și inhibă altele.

### **Epinefrina (adrenalina)**

Epinefrina, hormon al medulosuprarenalei și mediator simpatic determină efecte similare norepinefrinei și excitatorii asupra simpaticului: vasoconstricție, stimularea inimii, bronhodilatație și efecte metabolice (stimularea catabolismului și a oxidațiilor, glicogenoliză, hiperglicemie).

### **Serotonina (5-HT)**

Serotonina (5-hidroxitriptamina) și triptofanul din care derivă aparțin grupului de componente aromatice numite indoli. Serotonina este sintetizată de două enzime: 1) triptofan- hidroxilaza, oxidază similară tirozin-hidrozilazei, care pune un grup hidroxil în poziția 5 - a inelului indolic al triptofanului, pentru a forma 5-hidroxi-triptofanul (5HTP); 2) 5-hidroxi-triptofan- decarboxilaza.

Serotonina este secretată de nucleii cu originea în rafeul median al trunchiului cerebral și cu proiecții spre multiple arii nervoase, mai ales către coarnele posterioare ale măduvei spinării și către hipotalamus.

Proiecția acestor celule, asemănătoare cu a celulelor paradrenergice din locus ceruleus, este larg distribuită în tot creierul și în toată măduva spinării (Schwartz 1991).

Calea ascendentă a serotoninei inervează formațiunea reticulată mezencefalică, hipotalamusul, striatul, amigdala, hipocampusul, septul și cortexul cerebral.

Corelatele comportamentale ale sistemului serotoninic central au fost mai puțin studiate. Una din cauze se datorează lipsei medicamentelor specifice de blocare sau de stimulare a sistemului.

Majoritatea lucrărilor au fost efectuate folosindu-se medicamente sau leziuni care produc creșteri sau scăderi enorme ale concentrației generale de serotonină. În astfel de situații, Jouvet (1969) a observat apariția unui grad de insomnie proporțională cu diminuarea transmițătorului. Efectul poate fi prevenit prin injectarea 5-HTP (5-hidohitriptofan), care nu este altceva decât un precursor al serotoninei.



Lezarea rafeului sau injectarea de PCPA (para-chloro-fenilalanină drog depletizant cerebral de serotonină) fac șobolanii mai explozivi, hiperreactivi și uneori hiperagresivi (Aprison și Hingten 1972, Wise și colab. 1973, Geyer și colab. 1976). Acest fapt sugerează că serotonina cerebrală mediază inhibiția comportamentală, astfel încât diminuarea acesteia duce la creșterea acțiunilor comportamentale. De asemenea, injectarea de PCPA poate mima, la modele de animale anxioase, acțiunea medicamentelor antianxioase (Hodges și Green, 1984)

Gray (1982) sugerează că sistemul serotoninic ascendent joacă un rol major în trăirea fricii și anxietății, prin etichetarea stimulilor de intrare ca fiind asociați cu pedeapsa, accentuând în astfel de cazuri inhibiția comportamentală.

Consecințele creșterii nivelului de 5-HT sunt mai puțin clare.

Variațiile mici au efecte minore, în timp ce creșterile dramatice de 5-HTP sau stimularea directă a receptorilor (utilizarea 5-metoxi-N. N-dimetiltriptamina) produc un sindrom comportamental anormal, specific. Acesta se manifestă prin tremur de repaus al capului și al membrelor anterioare, rigiditatea torsului, oblicizarea membrelor posterioare și mișcări lente ale capului dintr-o parte în alta (Jacobs 1976, Sloviter și colab. 1978). Acesta este mai mult un model farmacologic decât unul psihologic, deoarece la astfel de animale nu poate fi testată activitatea locomotorie, de învățare, memoria, procesele atenției, tc.

Un efect al creșterii nivelului de serotonină hipotalamică constă în diminuarea ratei alimentare. Cele mai populare medicamente pentru slăbire, amfetamina (benzedrina) și fenfluramina (ponderax), acționează prin intermediul mecanismelor hipotalamice. Amfetamina eliberează din terminalele presinaptice dopamină și noradrenalină, în timp ce fenfluramina eliberează serotonină. Acest fapt sugerează existența intrahipotalamică a unui sistem serotoninic normal, care este utilizat în inhibiția actului de alimentare.

Serotonina acționează ca un inhibitor al căilor de transmitere a durerii în măduvă și se presupune de asemenea că ajută la controlul dispoziției psihice, posibil și la inducerea somnului.

## Histamina

Histamina, ca și aminoacidul histidină din care derivă, este un imidazol care conține cinci inele cu doi atomi de nitrogen. Este recunoscut faptul că histamina apare ca hormon local în reacțiile inflamatorii, în controlul vaselor, mușchilor netezi și glandelor exocrine (secreția sucului gastric cu aciditate crescută). Când o celulă eliberează o substanță cu acțiune asupra receptorilor de pe propria sa membrană, acea substanță poartă numele de autocoid. Autocoizii acționează adesea ca reglatori feedback ai transmițătorilor eliberați de neuron prin intermediul autoreceptorilor.

Histamina este un transmițător de necontestat la nevertebrate, în timp ce la vertebrate s-au găsit locuri de legătură pe unii neuroni cerebrali pentru anumite medicamente antihistaminice. Acest presupus transmițător al vertebratelor este

concentrat în hipotalamus. El este sintetizat din histidină prin decarboxilare. Decarboxilarea (1) care catalizează această treaptă pare să fie caracteristică neuronilor histaminergici. De asemenea, este precursorul a două dipeptide din țesutul nervos.

O sintetază catalizează formarea carnosinei ( $\beta$ -alanil-histidina) din aminoacidul  $\beta$ -alanina și ATP. Deși  $\beta$ -alanina este prezentă în mod normal în țesuturi, numai  $\alpha$ -aminoacizii (aminoacizi cu carboxil și grup amino pe alfa carbon) pot fi încorporați în proteine. Aceeași enzimă formează homocarnosina din alfa-histidină și din acidul gama-aminobutiric (GABA). Cu toate că rolul acestor peptide nu este cunoscut, carnosina cu o concentrație crescută în ariile olfactive ale creierului ar putea avea la acest nivel o funcție specială (Schwartz 1991).

Căile mai sus amintite (pentru ACh, dopamină, norepinefrină, epinefrină, serotonină și histamină) sunt magistrale majore ale neurotransmițătorilor, materializate prin axoni lungi.

### Transmițători aminoacizi

Acetilcolina și aminele biogenice sunt produse numai de anumiți neuroni. În contrast, grupul aminoacizilor eliberați ca neurotransmițători sunt constituenți celulari universali. Acțiunea lor este mai neclară, nu sunt organizați în căi cu axoni lungi, iar medicamentele care îi influențează nu au efecte bine delimitate asupra lor sau acționează bizar. Din distribuția și acțiunea lor farmacologică s-a dedus că au mai mult o funcție modulatorie asupra activității altor neuroni, ca de exemplu asupra celor cu axoni lungi.

Glicina, glutamatul și aspartatul sunt trei din cei 20 aminoacizi comuni, încorporați în proteinele tuturor celulelor. Glutamatul și aspartatul sunt produșii ciclului lui Krebs.

Glutamatul este probabil secretat de terminațiile presinaptice din numeroase căi senzitive precum și în multe arii corticale. Este un mediator excitator.

Aspartatul are un rol mai nesigur.

Glicina sintetizată din serină este secretată în principal la nivelul sinapselor medulare. Este posibil să acționeze totdeauna ca mediator inhibitor.

Deși căile biosintetice ale glicinei din alte țesuturi sunt bine cunoscute, biosinteza specifică neuronilor nu este studiată suficient.

GABA (gamma-aminobutiric-acid) este sintetizat din glutamat printr-o reacție de cataliză a acidului glutamic cu decarboxilaza (1).

GABA este prezent în concentrație mare la nivelul SNC, dar poate fi depistat și în alte țesuturi (în celulele insulelor pancreatice și în glanda adrenală). În unele celule, GABA servește ca substrat pentru metabolismul intermediar al unor căi secundare speciale - de tipul șuntului GABA, în timp ce la nivelul măduvei spinării este utilizat ca transmițător al interneuronilor inhibitori.

În creier GABA reprezintă transmițătorul inhibitor major al interneuronilor inhibitori și al celulelor granulare din bulbul olfactiv.

Acidul gama-aminobutiric (GABA) este secretat de terminațiile nervoase din măduva spinării, cerebel (celule Purkinje și în formă de coș), ganglionii bazali, hipocamp, numeroase arii corticale și celulele amacrine ale retinei.



La prima vedere pare enigmatic faptul că numai anumiți aminoacizi pot acționa ca transmițători, în timp ce alții nu. Acest fenomen pledeză în favoarea faptului că prezența unei substanțe în cantitate mare reprezintă o dovadă suficientă că acea substanță poate fi utilizată ca neurotransmițător. Pentru a ilustra acest fapt, vom lua următorul exemplu (Schwartz 1991). La rac (alte crustacee și insecte) GABA este inhibitor al joncțiunii neuromusculare, iar glutamatul este excitator.

Kravitz și colab. (1967) au constatat o concentrație de 20 ori mai mare a acidului gama-aminobutiric (GABA) în celulele inhibitoare decât în cele excitatoare, fapt care susține ideea că GABA este transmițător-inhibitor. Pe de altă parte, concentrația glutamatului (transmițător excitator) este aceeași atât în celulele excitatoare cât și în cele inhibitoare.

Un antagonist al GABA, picrotoxina, nu are nici un efect în doze mici, dar în doze mari induce convulsii generalizate. GABA acționează ca transmițător în cel puțin 40% din sinapsele SNC (Mc Geer și colab. 1978), dar rolul său în comportament nu este bine definit. Dacă la nivel cerebral GABA are rol inhibitor, atunci variațiile activității GABA vor produce variații și asupra nivelului inhibiției și activității neuronilor inhibați de GABA. Acum există probe convingătoare care atestă faptul că medicamentele anxioase pe bază de benzodiazepină (valium, librium) au ca acțiune majoră facilitarea transmiterii GABA.

Analizele efectuate de unii cercetători asupra receptorilor GABA<sub>A</sub> arată că aceștia sunt compuși din trei subunități: alfa, beta și gama.

Prin legăturile pe care le stabilesc receptorii GABA<sub>A</sub> dispun de trei domenii funcționale : 1) au un loc de legătură pentru GABA, 2) un loc de legătură pentru barbiturice și 3) un loc de legătură pentru benzodiazepine.

Prin urmare, toate aceste subunități se unesc cu GABA, dar subunitatea  $\alpha$  și  $\beta$  se leagă de barbiturice în timp ce  $\gamma$  se leagă de benzodiazepine.

Tallman și Gallager (1985) au demonstrat că efectul terapeutic al benzodiazepinelor se datorează întăririi activității receptorilor GABA<sub>A</sub>. Receptorii GABA acționează prin deschiderea canalelor de Cl<sup>-</sup> care hiperpolarizează și inhibă celulele țintă.

Benzodiazepinele măresc afinitatea receptorilor pentru GABA și influxul de Cl<sup>-</sup> prin canalele de Cl<sup>-</sup>. Prin urmare, efectul calmant al benzodiazepinelor (agenți antianxioși și relaxanți musculari) reprezentate prin valium (diazepam) și librium (clordiazepoxid) se datorează întăririi efectului inhibitor al GABA. Receptorii GABA de care se leagă benzodiazepinele sunt concentrați în sistemul limbic, în special în amigdală, arie cu importanță centrală pentru comportamentul emoțional.

## Peptide neuroactive

Cu rare excepții (de exemplu dopamin- $\beta$ -hidroxilaza), enzimele care catalizează stadiile sintezei neurotransmițătorilor cu greutate moleculară mică analizați sunt citoplasmice. Aceste enzime sintetizate în corpi celulari de polizomii liberi sunt apoi distribuite în neuron prin transport axoplasmic lent.

Datorită distribuției enzimelor biosintetice în întreaga celulă, transmițătorii cu moleculă mică pot lua naștere în oricare parte a neuronului, dar cel mai

important loc de sinteză îl reprezintă terminalele nervoase, de unde sunt eliberați în fanta sinaptică. În contrast, peptidele neuroactive provin din procesul de secreție proteică care are loc în corpul celulei, la nivelul poliribozomilor atașați de suprafața citoplasmică a reticulului endoplasmic. Ca și alte proteine secretoare, peptidele neuroactive sau precursorii lor iau naștere la nivelul reticulului endoplasmic, de

TABEL NR. 2

#### Enumerarea neuropeptidelor clasificate după localizarea tisulară

- 1 Factori de eliberare hipotalamici. Aceștia sunt hormoni care determină eliberarea hormonilor proprii ai hipofizei.
  - TRH (hormonul de eliberare a tirotropinei )
  - GnRH (hormonul de eliberare a gonadotropinei )
  - CRH (hormonul de eliberare a corticotropinei)
  - GHRH (hormonul de eliberare a hormonului de creștere)
  - Somatostatinul
2. Peptide retrohipofizare (neurohipofizare)
  - Vasopresina
  - Oxitocina
3. Peptidele hipofizei anterioare
  - Hormonul adrenocorticotro pic
  - $\beta$ -endorfina
  - Hormonul de stimulare a-melanocitic
  - Prolactina
  - Hormonul luteinizat
  - Hormonul de creștere
  - Tirotropina
4. Peptidele somnului. Aceste peptide mici sunt eliberate la nivelul regiunilor cerebrale bazale, unde acționează asupra altor neuroni pentru a induce somnul.
5. Alte neuropeptide
  - Angiotensina II
  - Bradikinina
  - Calcitonina
  - CGRP (calcitonin gene-related peptide )
  - Neuropeptida Y
  - Neuropeptida Yy
  - Gelanina
  - Substanța K (neurokinina)
6. Peptidele gastrointestinale
  - Poli-peptida vasoactivă intestinală
  - Colecistochinina
  - Gastrina
  - Substanța P
  - Neurotensina
  - Enkefalin-metionina
  - Enkefalin-leucina
  - Insulina
  - Glucagonul
  - Bombesina
  - Secretina
  - Somatostatinul
  - Motilina
7. Peptidele cardiace - peptida naturetică atrială
8. Peptidele nevertebratelor



unde se îndreaptă către aparatul Golgi unde are loc definitivarea procesului de formare . Ulterior, sub formă de granule secretorii părăsesc aparatul Golgi, îndreptându-se prin transport axonal rapid către terminale. În neuroni au fost descoperite mai mult de 50 peptide scurte, care din punct de vedere farmacologic sunt active (vezi tabel Nr. 2) Mediatorii chimici de tipul neuropeptidelor nu sunt deci sintetizați în terminațiile presinaptice ci în soma neuronală odată cu sinteza de noi vezicule. Apoi, acestea sunt transportate până la capătul fibrei nervoase prin curentul axonal al axoplasmei, cu o viteză foarte mică, de numai câțiva centimetrii pe zi. În cele din urmă, aceste vezicule își eliberează conținutul ca răspuns la potențialul de acțiune în același mod cu veziculele conținând mediatori cu moleculă mică.

Atunci când sunt aplicate pe țintele neuronale corespunzătoare, aceste peptide provoacă inhibiție, excitație sau ambele. Unele din aceste peptide au fost identificate anterior ca hormoni cu țintă în afara creierului (exemplu angiotensina, gastrina) sau ca produși de secreție neuroendocrină (de exemplu oxitocina, vasopresina, somatostatinul, hormonul luteinizat și hormonul de eliberare a tirotropinei).

Localizarea neuronală și acțiunea hormonală specifică susțin ideea că aceste peptide sunt pentru unele țesuturi hormoni, deoarece acționează la distanță considerabilă de locul eliberării, iar alte ori acționează ca eliberatori ai transmițătorilor în apropierea locului destinat acțiunii.

Studierea peptidelor neuroactive este importantă și pentru faptul că unele din acestea acționează în modularea sensibilității și emoțiilor.

Astfel, unele peptide (substanța P și enkefalinele ) sunt localizate preferențial în regiunile cerebrale implicate în perceperea durerii, iar altele (hormonul stimulant gama-melanocitic, adrenocorticotropina și  $\beta$ -endofrina) reglează răspunsurile la stress. Diversitatea peptidelor neuroactive este enormă, dar informațiile pe care le obținem ne permit să delimităm caracteristicile biologice celulare ale acestei clase de mesageri chimici. Conform acestor caracteristici peptidele neuroactive au putut fi grupate în cel puțin zece familii (vezi tabelul nr. 3).

TABEL NR.3

**Cele mai importante familii de peptide neuroactive**  
(după Schwartz 1991)

---

<i>Opioide:</i>	opicortinele, enkefalinele, dinorfina, amide FMRF
<i>Neurohipofizare:</i>	vasopresina, oxitocina, neurofizinele
<i>Tahikinine:</i>	Substanța P, fizalacmina, kasinina, uperoleina, eledoizina, bonbezina, substanța K (neurokinina A)
<i>Secretine:</i>	secretina, glucagonul, peptida vasoactivă intestinală, peptida inhibitoare gastrică, factorul de eliberare a hormonului de creștere, peptida izoleucinamida histidinică
<i>Insuline:</i>	insulina, insulina ca factor de creștere I și II
<i>Somatostatine:</i>	somatostatinul, polipeptida pancreatică
<i>Gastrine:</i>	gastrina, colecistochinina

---

Membrii fiecărei familii au structuri specifice în compoziția cărora intră catene lungi cu reziduuri aminoacide similare. Calea cea mai directă de determinare

a relațiilor dintre peptide o reprezintă compararea secvențelor aminoacidului actual al peptidelor sau compararea secvențelor de bază ale nucleotidelor din genele pe care le codifică. Adesea, structurile primare (secvențele aminoacizilor) sunt determinate numai după descoperirea activității fiziologice a peptidelor. Similitudinea funcției poate constitui uneori cheia similitudinii structurale.

Relația este suspectă dacă două peptide mediază aceleași procese fiziologice sau procese similare. Deoarece procesele fiziologice amintite sunt mediate de interacțiunea mesagerului chimic cu receptorii specifici, similitudinea funcțională poate indica faptul că peptidele pot fi recunoscute de aceeași receptori sau de receptori similari. Recunoașterea de către receptori este un indiciu al similarității structurale a peptidelor. Totuși, componenții unei familii pot să nu aibă activități biologice similare. De exemplu, glucagonul și secretina sunt divergenți din punct de vedere funcțional, în timp ce secretina și peptida intestinală vasoactivă pot fi recunoscute de receptorul fiecăreia, deși amândouă se leagă cu mai mare afinitate de propriul receptor (Schwartz, 1991).

### **Semnificația peptidelor în fiziologia creierului**

Studiile biochimice care operează cu neuronii secretori de peptide sunt de mare importanță în înțelegerea acestui subsistem neuronal peptidergic al creierului. Peptidele influențează excitabilitatea neuronilor într-o manieră diferită de cea de transmitere sinaptică a aminelor. Cunoașterea genezei, eliberării și biotransformării acestor peptide este esențială pentru înțelegerea formelor de mediere a acestora în comunicarea interneuronală. Unii autori încadrează aceste substanțe în rândul hormonilor, deși ele nu corespund definiției clasice de hormon care implică o singură sursă. Peptidele circulante au surse multiple. Conceptul de secreție paracrină propus de Flyrter (1938) este mai adecvat pentru aceste produse celulare care acționează în imediata apropiere a producerii lor. Guillemin (1978) a propus termenul de cibernin, dar poate cu timpul se va redefini însuși termenul de hormon. Aceste peptide acționează ca niște modulatori ai funcției sistemului nervos, în sens clasic necorespunzându-le, nici termenul de neurotransmițători. Totuși, se recunoaște din ce în ce mai mult că neuronii, axonii și dendritele conțin peptide specifice cum ar fi peptidele opiacee endogene, endorfinele, peptidele vasoactive, substanța P, vasopresina, neurofizina, somatostatina, gastrinul găsit în celulele cortexului cerebral, peptidele intestinale vasoactive, etc. Descoperirea semnificației peptidelor în fiziologia creierului constituie începutul unei ere noi în cunoașterea prospectivă a sistemului nervos central atât normal, cât și patologic.

Sistemul opiaceu endogen prezintă o importanță farmacologică majoră, deoarece acționează ca analgezic. Una din problemele cele mai importante ale farmacologiei clinice se referă la medicamentele pentru înlăturarea durerii. Morfina este cea mai cunoscută și cel mai larg utilizată, deoarece are cele mai puternice proprietăți analgetice, fiind în același timp relaxantă și ușor euforică. Abilitatea de a produce euforie a făcut ca unele opiacee să devină droguri care produc dependență. În anii '60, folosindu-se pe scară largă injecțiile intracraniene cu analgezice opioide (la animale), s-a constatat prezența unei specificități cerebrale regionale. Astfel, s-a demonstrat că injecțiile efectuate în substanța cenușie centrală



a mezencefalului sunt mult mai eficiente decât injecțiile efectuate în cortexul cerebral.

Puterea și specificitatea acțiunii morfinei a sugerat existența unor receptori sinaptici cerebrali specializați. Acești receptori opiacei au fost identificați și izolați zece ani mai târziu, adică prin anii '70. Distribuția generală a acestor receptori a fost cartografiată și cum era de așteptat a fost superpozabilă zonelor regionale specifice acțiunii morfinei (Simon, 1976).

Prin studii subcelulare s-a dovedit că receptorii opiacei sunt localizați regional, eterogen, având concentrația cea mai mare în ariile legate de perceperea durerii și de comportamentul emoțional, locuri potrivite cu consecințele acțiunii opiacee. De asemenea, s-a arătat că receptorii opiacei pot interacționa cu unele substanțe naturale cu care vin în contact. Prin urmare, s-a dovedit a fi o potrivire perfectă între morfină și receptorii endogeni existenți.

După identificarea receptorilor opiacei pe membrana postsinaptică s-a trecut la identificarea opiaceului endogen eliberat de terminalul neuronului opiaceu. Astfel, în anul 1975, Hughes a raportat identificarea și izolarea în creierul de porc a unei substanțe chimice endogene de tip opioid. Istoricul acestei descoperiri este redat în lucrarea lui Kosterlitz și Hughes (1977). Acest component chimic numit enkefalin a fost urmat de descoperirea altor două forme similare numite metioin-enkefalin și leucin-enkefalin. Enkefalinele au afinitate pentru receptorii opiacei, dar efectul lor analgetic a fost dificil de stabilit din cauza degradării enzimactice a acestora, imediat după injectarea lor intracraniană.

Atât Goldstein (1976), cât și Koss și Goldstein (1976) au stabilit că extractul de glandă pituitară conține peptide cu activitate morfinomimetică diferită de cele caracterizate ca endorfine, dar care au o mare acțiune specifică. Totuși, Cretien și colab. (1976) au constatat că extractul morfinomimetic conține beta-endorfine. Termenul de endorfine derivat din endogen și morfină se întrebuintează pentru a desemna peptidele cu acțiune opioidă.

Cercetările ulterioare au dus la identificarea a trei tipuri de endorfine: alfa, beta și gama. Alfa și beta - endorfina sunt peptide specifice izolate din glanda pituitară. Ele sunt similare ca potență cu enkefalinul. Guillemin (1978) a relevat că unele celule din creier au posibilitatea de a sintetiza beta-lipotrofin, prehormon sau precursor al endorfinelor și că acest prehormon s-ar găsi în glanda pituitară, iar alfa și beta - endorfinele pot exista simultan în unele celule pituitare din lobul anterior sau intermediar. Peptidele opioide din glanda pituitară acționează direct asupra receptorilor opiacei pituitari, pentru a produce efectul de declanșare (release) a hormonului antidiuretic.

Lobul pituitar intermediar este sursa majoră pentru endorfinele pituitare. Rinner (1977) a demonstrat că beta-endorfina este factorul patent de eliberare pentru hormonul de creștere și prolactină și că endorfinele nu acționează direct asupra celulelor pituitare. Ca și opiaceele, acțiunea lor este mediată de unele structuri ale SNC, reacționând direct la nivelul adenohipofizei.

Endorfinele s-au dovedit a fi analgezice puternice, beta-endorfina, fiind de multe ori mai puternică decât morfina. Studiile ulterioare au arătat că atât

enkefalinele, cât și endorfinele au proprietăți analgezice, dar administrarea lor prelungită induce toleranța și dependența în mod analog morfinei.

Analizându-se importanța diferiților nuclei și a diferitelor regiuni hipotalamice, s-a constatat că eminența medială are extraordinara caracteristică de a conține un mare număr de molecule biologic-active. Probabil că nici o altă structură din SNC, cu un volum echivalent, nu conține atâtea enzime, neurotransmițători și hormoni de origine periferică și centrală ca eminența medială. În ceea ce privește dimensiunea și complexitatea nucleului ventro-medial, s-a constatat, prin numeroase analize, că el are un rol important în reglarea unor hormoni, ca cel de creștere, insulina, glucagonul, tirotrofina, corticotrofina și gonadotrofinele. Dar prezența peptidelor opioide nu este limitată numai la nivelul SNC. Enkefalinul a fost găsit în tractul gastrointestinal, iar recent multe alte substanțe opioide au fost detectate în glanda pituitară. Astfel, existența atât de răspândită a peptidelor endogene cu acțiune asemănătoare opiaceelor sugerează că aceste substanțe pot funcționa ca neuromodulatori sau neurotransmițători la nivelul SNC.

Efectul endorfinelor asupra comportamentului a fost studiat de puțini cercetători. În general, s-a constatat că endorfinele ajută la menținerea comportamentului normal.

Alertarea mecanismelor care reglează homeostazia beta-endorfinelor duce la apariția unor semne și simptome de boală mintală.

Efectele sale comportamentale sunt anulate de către un antagonist specific al receptorilor opiacei numit naloxon. Administrarea de naloxon la mulți bolnavi cu schizofrenie cronică nu a dus la nici o ameliorare clinică.

Injectarea endorfinelor în LCR afectează numeroase procese fiziologice și comportamentale. Beta-endorfina dă o marcată stare catatonică numită stare de inhibiție rigidă sau imobilitate rigidă beta-endorfinică.

Metil-5-enkefalinul inhibă temporar răspunsul la agenți toxici dureroși și dă o stare catatonică de aspectul schizofreniei, cu generalizarea rigidității musculare și absența totală a mișcărilor spontane.

Temperatura rectală descrește, ochii rămân deschiși și exoftalmici, iar reflexul corneean și cel palpebral dispar. La trezire, toate aceste simptome dispar. La doze mari de alfa-endorfină, gama-endorfină sau met-5-enkefalin, temperatura rectală se ridică însoțindu-se de hiperreactivitate la testele de sensibilitate. Efectul excitant al gama-endorfinei reprezintă o trăsătură caracteristică dependentă.

Utilizând ca model efectele cunoscute ale morfinei, putem face speculații asupra funcției normale a unui sistem opiat. Astfel, enkefalinul depozitat în terminalele presinaptice în circumstanțe corespunzătoare este eliberat în spațiul sinaptic, unde acționează pe receptorii opiacei postsinaptici. Acesta ar putea fi mecanismul de bază al analgeziei. În anumite situații, sistemul poate deveni hiperactiv, ca exemplu putem cita cazul soldaților grav răniți fizic care continuă să lupte.

Mai prozaică este situația diferiților indivizi cu susceptibilități diferențiate pentru durere. Acest fapt s-ar datora implicării variate a căilor neurochimice fundamentale de tip opioid. Mai interesantă este bizara tehnică de acupunctură,



care ar putea duce la stimularea sistemului opiat endogen. Ca argument în favoarea acestui fapt, amintim că naloxona blochează analgezia indusă prin hipnoză. În plus, opiaceii endogeni pot explica efectul placebo în care subiecții răspund la un produs chimic inert, pe care îl consideră ca medicament activ.

Enkefalinul, peptid opioid (de aspectul morfinei) al SNC, este caracterizat ca liant endogen al receptorilor opioeci. Această substanță a fost izolată numai din creier. Distribuția enkefalinului în creier este proporțională cu cea a receptorilor opioeci. Snyder (1978), care a cercetat distribuția cerebrală a acestui peptid, a găsit niveluri neglijabile în cerebel, o foarte mare densitate a receptorilor și a enkefalinului în corpul striat și în hipotalamus și valori intermediare în alte regiuni.

Hughes (1975), izolând enkefalinul din creierul porcului, a observat prezența unui amestec format din două peptide: metionin-enkefalinul (m-enk), leucin-enkefalinul (l-enk). Dacă enkefalinul este neuro-transmițător, el trebuie să aibă anume receptori sinaptici fiziologici. Astfel, s-a constatat că enkefalinul este conținut în sistemul arborizațiilor axonale și terminale, în numeroase varicozități ce se aseamănă mult cu rețeaua terminală care conține norepinefrină, dopamină, serotonină, etc.

În măduva spinării și în bulb, enkefalinul este mai concentrat în substanța cenușie centrală, în nucleul ambiguu și în nucleul tractului solitar. În mezencefal, se găsește în substanța cenușie periaeductală și în zona compactă din substanța neagră, ambele bogate în receptori opioeci și în terminații cu enkefalin. Nucleii intralaminari ai talamusului, hipotalamusul și globus-pallidus conțin numeroase fibre cu enkefalin. Nucleul caudat conține zone cu fibre de enkefalin și zone cu distribuție ale receptorilor opioeci, cu cea mai mare densitate în porțiunile ventrală și dorsală. Nucleul amigdaloid cu concentrare mare de receptori opioeci dispune și de substanțiale fibre cu enkefalin. O cantitate mică de enkefalin a fost găsită în cortexul cerebral și glanda pituitară.

Există o strânsă coincidență între distribuția terminațiilor enkefalinice și receptori opioeci. Lezarea rădăcinilor dorsale ale măduvei spinării la maimuță duce la scăderea receptorilor opioeci din substanța cenușie dorsală, datorită degenerării neuronilor senzitivi terminali și nu alterării lor trofice postsinaptice.

Există speculația conform căreia, la om, obezitatea ar putea fi dată de enkefaline, iar Belluzzi și colab. (1977) sugerează că enkefalinul joacă un rol important în funcționarea normală a căilor de recompensă.

Ei arată că șobolanii își autoadministrează enkefalin prin intermediul unor canale intracraniene, în același mod cum o fac și pentru morfină.

Rata autoadministrării este semnificativ redusă de către neloxon.

Drogurile care produc depleție cerebrală de noradrenalină au același efect, fapt datorită căruia, Belluzzi și Stein (1977) au tras concluzia că recompensa sau reîntărirea sunt reglate atât de noradrenalină, cât și de enkefalin.

Simantov și colab. (1976), care au studiat distribuția enkefalinului la diferite specii animale, au raportat că opiaceele endogene se găsesc numai la vertebrate, nu și la nevertebrate. Acest fapt relevă că sistemul opiat a apărut relativ tardiv pe scara evolutivă și că este strâns legat de anxietate și de perceperea durerii. Ceilalți

neurotransmițători descriși sunt prezenți la toate speciile de animale, chiar și la cele cu sistem nervos neuronal rudimentar, fiind arhaici în comparație cu enkefalinul.

Angiotensina II administrată în doze mici intracerebral influențează reflexele cardiovasculare, presiunea sanguină și comportamentul de a ingera lichide; de asemenea, are rolul de a excita nucleul supraoptic. Acest fapt a fost confirmat de Neff și Olshansky (1975) prin aplicarea iontoforetică de angiotensină II la nivelul formațiunii respective. Constatarea a sugerat că neuronii nucleului conțin receptori specifici pentru angiotensina II.

Neurotensina este un tridecapeptid izolat din extractul hipotalamic. În doze mici produce hipotensiune, creșterea permeabilității vasculare, senzație de durere, creșterea hematocritului, cianoză, inhibiția morfinică a secreției de ACTH, creșterea secreției FSH, hiperglicemie și o varietate de efecte la nivelul musculaturii netede, care includ contracția uterului și a ileusului la șobolani. Cași enkefalinul, somatostatinul și substanța P, neurotensina este localizată numai în SNC și în intestin. Cea mai mare concentrație de neurotensină se găsește în hipotalamus, ganglionii bazali și talamusul dorso-lateral.

Valori mici s-au constatat în cerebel, substanța albă, cortexul cerebral și trunchiul cerebral. În cortexul cerebral, un nivel mai ridicat s-a găsit în girusul parahipocampic. Snyder (1978) a constatat rolul de neurotransmițător al neurotensinei, enkefalinului și angiotensinei II. Dovezi similare există și pentru substanța P, somatostatin, TRH și gastrin.

Somatostatinul nu inhibă numai hormonul de creștere, ci și secreția de tirotrifină, glucagon, insulină, gastrină și secretină prin acțiunea directă a acestor peptide și prin intermediul acetilcolinei. Somatostatinul se găsește în multiple părți ale SNC. Datorită efectului inhibitor asupra secreției de insulină, s-au făcut multe studii cu privire la rolul posibil al somatostatinului în tratamentul diabetului juvenil.

Substanța P este considerată tot ca un factor facilitator al transmisiei senzoriale.

### **Deosebirea dintre transmițătorii cu moleculă mică și peptide**

Unele din cele patru criterii de identificare ale unei substanțe neurotransmițătoare cu moleculă mică au fost întâlnite și la peptidele neuroactive, dar puține le satisfac pe toate.

Anumite caractereistice metabolice și de acțiune ale peptidelor diferă de cele ale transmițătorilor cu moleculă mică. Peptidele neuroactive prezente în concentrație relativ înaltă în unii neuroni sunt fabricate numai în corpul celular, deoarece sinteza lor cere stabilirea unor legături peptidice pe ribozomi, în timp ce transmițătorii cu moleculă mică pot fi sintetizați local la nivelul terminațiilor.

Totuși, deosebirea celor două clase de mesageri chimici prin modalitatea sintetizării lor poate prezenta unele dificultăți semantice, prin faptul că legăturile



peptidice pot fi catalizate și de către enzimele citozolice, denumite sintetaze. Sinteza peptidelor din aminoacizi, fără participarea mARN-ului, are ca rezultat formarea polimerilor scurți cu grupul carboxil situat mai mult în poziția gama decât în poziția alfa (de exemplu carnosina, homocarnosina, glutamatul și alte gama glutamil peptide).

În plus, deși s-a demonstrat că sinapsele dependente de  $\text{Ca}^{2+}$  eliberează unii mesageri peptidici neuroactivi, eliberarea tiparelor peptidice și a substanțelor cu moleculă mică ar putea fi diferită.

Resintetizarea transmițătorilor cu moleculă mică la nivelul terminalelor face posibilă reumplerea imediată a veziculelor și eliberarea rapidă și susținută a respectivei substanțe. În cazul peptidelor, după eliberarea acestora, noua cantitate este fabricată la nivelul corpului celular.

Peptidele și transmițătorii cu moleculă mică, precum și alte molecule potențial neurotransmițătoare pot exista în același neuron, fapt demonstrat pentru prima dată de Hokfelt și colab. (1978).

În neuronii maturi, transmițătorii cu moleculă mică pot în mod obișnuit coexista cu o peptidă sau cu un derivat peptidic al unei poliproteine.

Unele celule amacrine ale retinei conțin și eliberează atât ACh, cât și GABA, ultimul neputând fi eliberat prin exocitoză. De exemplu, Hokfelt și colab. (1980) au constatat că ACh și peptida intestinală vasoactivă eliberate împreună de către un neuron presinaptic acționează sinergic pe aceleași celule țintă.

Un alt exemplu îl constituie CGRP-ul care împreună cu ACh este prezent în majoritatea neuronilor motori spinali. Pentru a potența forța constricției mușchilor scheletici, CGRP activează adenilciclaza și crește cantitatea de AMP. Astfel, la nivelul joncțiunii neuromusculare este eliberat un transmițător cu moleculă mică (ACh) și o peptidă (CGRP) care coexistă în același neuron presinaptic. Acest fapt reprezintă un exemplu de cotransmitere, deoarece celulele postsinaptice corespunzătoare au receptori pentru ambii mesageri chimici.

În plus, neuronii care conțin peptide provenite dintr-o singură poliproteină pot elibera numeroase peptide neuroactive cu acțiune postsinaptică potențial diferită.

Veziculele care eliberează peptide diferă de cele care mediază eliberarea transmițătorilor cu moleculă mică la nivelul zonelor active, prin faptul că ele sunt mai mari și nu au nevoie de membrană presinaptică. Veziculele cu conținut peptidic pot sau nu pot conține transmițători cu moleculă mică, în schimb toate conțin ATP, iar ATP-ul este coeliberat cu ambele tipuri de mesager. La nivelul unor sinapse, și ATP-ul împreună cu produșii săi de degradare (de exemplu adenzina) activează ca mesageri chimici.

Adenina și guanina împreună cu derivații lor sunt denumiți purine. Transmiterea purinergică este puternică pentru purinele eliberate din neuronii simpatici pe vasele deferente, pe fibrele musculare ale inimii, din nervii plexurilor pe mușchii netezi ai intestinului și din celulele ganglionilor rădăcinii dorsale, care fac sinapsă pe neuronii din cornul dorsal al măduvei spinării.

Cantitatea de ATP din veziculele acestor terminații nervoase pare să fie considerabil mai mare decât a altora.

La nivelul altor sinapse din care se eliberează ATP, purinele nu au nici un efect asupra țintelor postsinaptice. Însă, acțiunea acestor metaboliți comuni, în transmiterea sinaptică, depinde de prezența receptorilor sensibili la purine. În acest sens, au fost bine descriși și caracterizați receptorii presinaptici pentru adenzină, nivel la care purinele pot acționa ca autocoizi.

Coeliberarea ATP (după eliberare poate fi degradat în adenzină) nu semnifică în mod necesar și cotransmiterea ATP. Ca și în cazul altor substanțe, eliberarea din neuroni nu devine eficace decât în prezența receptorilor corespunzători. Pe de altă parte, pe unii neuroni postsinaptici există receptori atât pentru ATP, cât și pentru adenzină sau numai pentru unul din aceștia.

Numai în prezența receptorilor corespunzători devine posibilă transmiterea (Schwartz 1991).

## Concluzii

Din datele prezentate reiese că unele substanțe acționează ca neurotransmițători sinaptici, în timp ce altele sunt neuromodulatori. Ultimile dirijează subtilitățile neurotransmisiei. Informația vehiculată de neuroni este encodată și convertită în semnale electrice care se transmit de-a lungul axonului până la terminalul nervos. La acest nivel, semnalele electrice sunt preluate de unul sau mai mulți mesageri chimici care traversează fanta sinaptică. Ca și ARN și ADN nici unul din acești mesageri chimici nu transmit numai o singură informație. Unii neurotransmițători au și alte funcții celulare: participă pe cale metabolică la constituirea unor căi biochimice, sau polimerizează aminoacizii în proteine. Glutamatul și GABA acționează ca substrat în metabolismul intermediar, iar ATP reprezintă factorul principal de transfer al energiei metabolice.

Prezența neurotransmițătorilor presupune și existența receptorilor caracteristici fiecăruia dintre aceștia. Odată neurotransmițătorul ajuns în spațiul sinaptic, acesta difuzează către membrana postsinaptică unde se combină cu receptorul specific. De asemenea, s-a descoperit existența și a unor receptori pe terminalul presinaptic, denumiți autoreceptori.

Rolul lor este acela de a inhiba eliberarea neurotransmițătorului din terminalul presinaptic. Ar exista deci un mecanism feed-back negativ- cu cât se eliberează mai mult neurotransmițător, cu atât eliberarea lui în continuare este împiedicată.

Pentru îndeplinirea funcției semnalizatoare, complexe chimice mesager receptor transformă informația într-un semnal metabolic sau electric care se transmite mai departe în celula postsinaptică.

Coeliberarea de către neuronul presinaptic a mai multor substanțe neuroactive și prezența concomitentă a receptorilor postsinaptici realizează împreună o diversitate combinatorie extraordinară a transferului de informație. Într-un act comportamental nici un sistem transmițător nu acționează izolat, deoarece efectele unuia implică în mod indirect și efectele celorlalte, indiferent dacă acestea sunt de domeniul neurotransmițătorilor clasici sau a neuromodulatorilor.



## Veziculele sinaptice

Există date certe care demonstrează că transmițătorii cu moleculă mică sunt localizați în vezicule. Eliberarea acestora în spațiul sinaptic este efectuată prin procesul de exocitoză. Majoritatea neuronilor conțin cel puțin două populații de vezicule sinaptice : unele mici cu diametru de circa 50nm și altele mari cu diametru de circa 70-200nm.

Aceste două populații sunt distincte și independente, dar este posibil ca veziculele mici să derive din cele mari. Acest fapt nu a fost stabilit cu certitudine. Dacă transmițătorii s-ar afla liberi în citoplasmă, ar suferi o degradare enzimatică intracelulară.

Monoamin oxidazele, de exemplu, situate în afara membranei mitocondriale degradează aminele biogenice. Și peptidele neuroactive sunt depozitate în vezicule. De exemplu, substanța P este localizată în veziculele terminațiilor neuronilor ai ganglionilor rădăcinii dorsale din substanța gelatinoasă a măduvei spinării, iar peptida legată de gena calcitonin (CGRP-calcitonin gene-related peptide) are o distribuție similară în terminalele neuronului motor spinal.

Deoarece peptidele neuroactive sunt sintetizate ca produși secretori, se poate presupune că toate neuropeptidele din neuron sunt împachetate în vezicule. Spre deosebire de transmițătorii cu moleculă mică, nici una din aceste peptide transmițătoare nu este sintetizată în citozol și nu există nici un mecanism de reglare a concentrației lor citoplasmice.

O deosebire importantă între transmițătorii cu moleculă mică și peptidele neuroactive se referă la absența enzimelor specifice de control a înmagazinării intracelulare a acelor mesageri.

Veziculele transmițătoare au fost izolate cu ajutorul tehnicilor de fracționare subcelulară. Ele diferă de celelalte organite subcelulare prin mărime, densitate și formă. Sacii veziculari plini au fost numiți de către Whittaker și colab. (1964) sinaptozomi.

Sinaptozomii sunt stabili și mai mari (circa 1mm în diametru) decât cele mai multe structuri subcelulare. Odată separați de componentele celulare mici, sinaptozomii eliberează veziculele sinaptice. Veziculele astfel eliberate pot fi despărțite de ceilalți constituenți ai sinaptozomilor prin configurare. După izolare, veziculele pot fi caracterizate din punct de vedere biochimic.

Măsurarea biochimică a cantității de ACh dintr-o singură veziculă colinergică a dus la găsirea unor cantități mai mici (aproximativ 2000 molecule) decât cea estimată cu ajutorul experimentelor neurofiziologice (aproximativ 5000 molecule).

Studierea veziculelor izolate din neuronii adrenergici a permis izolarea a două populații de vezicule, mari și mici. Și neuronii serotonergici, dopaminergici și histaminergici au mai mult decât un tip de veziculă transmițătoare. În neuronii aminergici, veziculele aminergice mari conțin o cantitate mai mare și mai concentrată de transmițător decât veziculele mici. Totuși, veziculele mici, similare ca mărime cu veziculele colinergice, mediază eliberarea transmițătorului format din amine biologice prin zonele active ale terminațiilor nervoase aminergice.

Veziculele sinaptice izolate conțin și alte substanțe. Astfel, veziculele colinergice mari conțin cel puțin două proteine solubile, denumite cromogranine. Veziculele adrenergice mari și mici conțin enzima dopamin-B- hidroxilaza, unele molecule enzimatice în stare solubilă și altele legate de membrană. În interiorul veziculelor, ATP și cromograninele formează complexe cu transmitătorul, care pot servi la diminuarea activității osmotice apărute ca rezultat al înaltei concentrări intraveziculare de transmitător liber.

Catecolaminele traversează membrana veziculelor aminergice datorită gradientului pH. În interiorul veziculelor pH este de 5,5, iar în citoplasmă este de 7.

Mecanismul de transport prin membrana veziculei este întărit de hidrolizarea ATP-ului.

Influsul de  $H^+$  în interiorul veziculei îi face conținutul mai acid decât cel citoplasmic, fapt care duce la apariția unui gradient electrochimic pozitiv în interiorul acesteia.

O altă explicație presupune că pot fi transportate numai moleculele aminelor biogenice neîncărcate. La pH-ul citoplasmic neutru, numai 1% din amine se află sub formă neîncărcată. Suprafața citoplasmică a membranei veziculelor conține receptori specifici de care se leagă aminele biogenice în forma lor cationică. Odată legate, aminele se descarcă prin disocierea unui proton. Apoi, moleculele transmitătorului neural sunt transportate prin membrană în interiorul veziculei de către un căraș. Deoarece pH-ul din interiorul veziculei este de 5,5, proporția aminelor neîncărcate (neprotonate) din interior este de 70 de ori mai mică decât în citoplasmă. Datorită faptului că pH din interiorul veziculei este scăzut, o moleculă de amină neîncărcată venită în interiorul veziculei este protonată și nu scapă ușor. Prin urmare, transmitătorul este concentrat în vezicule prin capcana ionică și prin formarea unor complexe atât cu ATP-ul cât și cu proteinele interne.

Eliberarea transmitătorilor din vezicule presupune intervenția altor mecanisme.

Douglas (1968) a fost acela care a demonstrat pe bază biochimică că eliberarea transmitătorului este un proces exocitotic. Experiențele au fost făcute pe molecula adrenală, care prin stimulare eliberează în circulație conținutul său de amine biogenice (norepinefrina și epinefrina).

Embriologic, aceste celule sunt legate de neuronii adrenergici postganglionari ai sistemului nervos simpatic, care poartă numele de cromafin din cauza colorării secțiunilor tisulare cu săruri de crom.

Ulterior, observațiile morfologice și biochimice au arătat că transmiterea sinaptică, deși este un proces exocitotic, diferă de eliberarea glandulară.

Eliberarea de către medula adrenală implică granulele mari cromafine cu miez dens care conțin concentrații mari de amine biogene și cromogranine. Aceste vezicule mari interacționează încet cu membrana plasmatică a celulei glandulare. Pe de altă parte transmiterea sinaptică este mediată tipic de micile vezicule electrono-transparente și este facilitată de zonele active ale membranei specializate în acest sens.

Veziculele mici și mari pot fi izolate de fracțiunile subcelulare ale țesuturilor bogate în terminații nervoase aminergice, ceea ce relevă că veziculele mici conțin un miez proteic mic sau deloc.



Spre deosebire de acestea, veziculele mari conțin transmițători aminici cu moleculă mică, miez proteic și peptide. Neuropeptidele nu sunt exocitate de veziculele sinaptice mici de către acest mecanism de facilitare specializat. Deoarece toate neuropeptidele se găsesc în mod exclusiv în veziculele mari ale neuronului, terminalele nervoase mențin probabil și mecanismul mai primitiv de eliberare specific celulelor glandulare (Schwartz 1991).

În ceea ce privește membrana veziculelor s-a constatat că aceasta conține proteine specifice. Veziculele sinaptice au două proprietăți importante; mișcarea și medierea exocitozei. Unele proteine din membrana veziculelor sinaptice participă la aceste activități.

Veziculele se mișcă de la aparatul Golgi către terminalul nervos cu ajutorul transportului axonal rapid. Odată ajunse la terminal, ele se alătură marelui rezervor de vezicule caracteristice profilului sinapsei. În vederea eliberării transmițătorului prin exocitoză la nivelul zonelor active, veziculele trebuie deplasate din rezervor către locurile de încărcare (docuri) de pe membrana sinaptică, proces numit mobilizare. Mobilizarea veziculelor este mediată de către elementele citoscheletice și de către proteinele sale asociate. O proteină din membrana veziculelor, numită caldesmin, leagă filamentele actinice, tubulina și ioni de  $Ca^{2+}$ . Alte proteine inhibă mobilizarea.

Mișcările moleculare active dispun de motoare moleculare lineare și motoare moleculare rotative care nu sunt altceva decât ATP-aze sau GTP-aze.

Motoarele moleculare lineare sunt macromolecule proteice capabile să remorcheze organele celulare și să le transporte de-a lungul unor structuri fibrilare citoscheletice de tipul microfilamentelor și microtubulilor. Capetele motoarelor moleculare lineare au în alcătuirea lor un domeniu motor de formă globulară ce conține circa 300 de aminoacizi, prin care pot lega atât nucleotidul ATP cât și structura citoscheletală de-a lungul căreia se deplasează. Marea majoritate a motoarelor moleculare lineare aparțin următoarelor trei mari familii: familia miozinelor, familia dincinelor (dincine axoneurale din cili și flageli și dincine citoplasmatic implicate în mitoză) și familia kinezinelor implicate în transportul organelor în prelungirile neuronilor. Scholey (1990) menționează și familia dinaminelor care deplasează microtubulii unii față de alții prin mișcări de glisare.

O moleculă de kinezină poate parcurge de-a lungul microtubulilor distanțe de ordinul milimetrilor, deci uriașe în raport cu dimensiunea moleculei de kineză. După Schnitzer și Block (1997) pașii kinezinei sunt de 8nm iar pentru fiecare pas este hidrolizată o moleculă de ATP.

Spre deosebire de miozine și dineine kinezinele au unul din capete atașat de microtubul și un timp suficient pentru ca celălalt capăt să se lege și el de același microtubul, înainte ca primul cap să se desprindă.

Motoarele moleculare lineare percep polarizarea în felul lor, încă necunoscut, și înțeleg fără greș direcția de deplasare. De multe ori, sensul de deplasare al kinezinelor de-a lungul microtubulilor este invers față de cel în care se deplasează dineinele de-a lungul aceluiași microtubul.

Poziția domeniului motor este cea de care depinde sensul de deplasare. La unele kinezine, domeniul motor este plasat la capătul amino al lanțului, iar la altele la extremitatea carboxilică (Henningson și Schlama 1997).

Orice enzimă este, într-o măsură mai mică sau mai mare, un motor molecular.

Motoarele moleculare rotatorii pot fi complicate (cele care mișcă flagelii bacterieni) și simple (molecule proteice enzimatice și în mod special ATP-azele). Mișcarea de rotație caracteristică ATP-azei este de 100 de ori pe secundă, ceea ce este puțin în comparație cu rotorul motoarelor flagelilor, care are o turație de 1000 pe secundă (Noji și colab. 1997).

Aceste mișcări active, necesită consum de energie, provenită cel mai adesea din reacția de hidroliză ale ATP sau GTP, sau din diverse gradiente transmembranare de potențial electrochimic, în mod deosebit din gradientul protonic adică din forța protonmotivă (Block, 1997; Cross, 1997).

Llinas și Heuser (1977) au demonstrat că în formele defosforilate sinapsele sunt inhibitoare. Inhibiția devine reversibilă odată cu fosforilarea sinapselor.

Mobilizarea veziculelor, alipirea lor de locul de încărcare de la nivelul zonelor active și fuzionarea acestora cu membrana sinaptică implică ionii de  $\text{Ca}^{2+}$ . Legarea proteinelor membranare de calciu dă naștere la compuși numiți anexine.

Deoarece fuziunea cu veziculele sinaptice este reglată de  $\text{Ca}^{2+}$ , unele proteine legate de calciu, și aparținând membranei veziculelor operează în procesul de fuziune, care are loc la nivelul sinapsei în timpul exocitozei. O proteină membranară abundentă, cu greutate moleculară de 38.000 legată de calciu este sinatofizinel. El este prezent în 10-20 copii per veziculă și are o structură similară conexinului.

Schwartz (1991) arată că mai există și alte asemenea proteine.

Pentru a avea acces la spațiul extracelular și pentru a elibera transmițătorul din vezicule prin exocitoză, membrana veziculei fuzează cu membrana terminalului sinaptic. Ulterior, membrana veziculei unită cu membrana terminalului se reface rapid fiind apoi reciclată. Numărul veziculelor din terminalul nervos scade, dar membrana lor este conservată. Procesul de reciclare face parte din procesul de reglare al căilor de secreție, în care reintrarea veziculelor în celulă prin endocitoză este însoțită de acoperirea lor cu proteina clathrin. Peroxidaza se îndreaptă către cisterne, iar în final, după o perioadă de repaus intră în veziculele sinaptice. Are loc apoi reciclarea receptorilor și a altor constituenți membranari, distribuirea substanțelor legate de suprafața receptorilor unor ținte specifice din interiorul celulei și degradarea constituenților membranari în lizozomi. Constituenții membranari sunt ridicați din partea plasmică a membranei în fragmente acoperite cu clathrin, care se transformă în vezicule. Veziculele astfel acoperite fuzează cu endozomii în care pH este scăzut. Receptorii eliberează liganții lor în mediul acid din endozomi.

Primele două căi de refacere se află sub controlul stimulilor externi. Prima cale se referă la porțiunile de membrană care ajung în aceleași regiuni ale membranei plasmatice de unde au fost extrase. A doua cale, transcitoza, se referă la porțiunile de membrană pe care endozomii le direcționează către regiuni plasmatice situate la distanță de locul din care provin. Cele mai multe proteine membranare provenite din veziculele acoperite (capitonate) urmează a treia cale denumită constitutivă, prin care acestea sunt predate lizozomilor pentru degradare.

Miller și Heuser (1984) au sugerat un alt mecanism de reciclare a proteinelor veziculelor membranare. Potrivit acestei explicații, pentru refacerea membranei joncțiunilor neuromusculare există două căi.



În prima cale, care durează până la un minut de la exocitoză, excesul membranelor din afara zonelor active formează fragmente capitate cu clathrin. Clathrinul formează un grilaj în jurul fragmentelor care în final ia forma unei vezicule mici capitate. După dispariția învelișului de clathrin aceste vezicule servesc iarăși ca vezicule sinaptice. Această cale corespunde reciclării căii. A doua cale este urmată numai de o mică porțiune membranară. Reciclarea membranară este semnificativă numai în cazul unei activități nefiziologice. În acest proces, membrana este luată rapid din plasmalemă și reintrodusă în terminal ca cisternă sau vacuolă necapitată, mare. Majoritatea acestor porțiuni asimilate apar în apropierea locurilor de eliberare, pe când altele se întâlnesc la distanță de zonele active. Această cale ar putea corespunde transcitozei.

O parte din membrana recuperată nu este reciclată în vezicule funcționale, deși se reîntoarce în corpul celular.

Studiile cu peroxidază au arătat că în timpul activității sinaptice o parte din aceste fragmente urcă în lizozomi cu ajutorul transportului axonal retrograd rapid, unde sunt degradate.

Veziculele vechi și uzate sunt înlocuite de unele noi care sunt aduse în terminale cu ajutorul transportului axonal anterograd, rapid.

După Heuser și Reese (1981) exocitoza veziculelor sinaptice și recuperarea membranei implică mai multe etape.

Inițial veziculele se apropie de zona activă cu ajutorul unei energii provenite, probabil, de la proiecțiile dense ( părți specializate ale membranei de la nivelul zonelor active). Aceste structuri constau din actină și proteine ancorate de actină.

Veziculele apropiate de proiecțiile dense par a fi lipite de ele, în imediata apropiere a membranei presinaptice, chiar în absența impulsului nervos.

Intrarea ionilor de calciu odată cu apariția impulsului duce la lipirea și fuziunea membranei veziculelor de membrana sinaptică.

Fuziunea este urmată de fuziunea tuturor componentelor membranare și de deschiderea veziculelor. Ulterior, membrana veziculelor colabează și fuzionează cu membrana externă drept consecință a fluidificării membranei. În final, o parte din membrana veziculei este recuperată prin reutilizare, iar alta părăsește terminalul reîntorcându-se în corpul celular, la lizozomi unde este degradată. Când refacerea (recuperarea) membranei veziculare este blocată membrana veziculelor sinaptice postexocitoză se adaugă feței plasmatică a membranei sinaptice, îngroșând-o destul de mult (Torri-Tarelli și colab. 1990).

Când exocitoza este indusă de toxină, în situația în care endocitoza poate avea loc (adăugarea  $\text{Ca}^{2+}$  extracelular) refacerea membranei veziculelor se menține paralel cu exocitoza, astfel încât profilul terminalului nu se deosebește de cel din repaus.

Membrana veziculelor diferă după tipul neuronal de transmitere.

În plus, fiecare tip de neuron are proteine membranare caracteristice pentru împachetarea și prelucrarea substanțelor transmițătoare caracteristice.

În cei mai mulți neuroni, substanțele nu pot fi utilizate ca transmițători dacă nu sunt împachetate. Astfel, aceste celule se deosebesc nu numai din punct de vedere al căilor enzimatice de biosinteză a transmițătorilor, dar și din punct de vedere al specificității aparatului lor de împachetare. Aceste specificități prezintă importanță nu numai teoretică, dar și terapeutică, deoarece fiecare sistem biologic

poate fi interferat farmacologic. Specificitatea împachetării rezultă din receptorii și moleculele transportate în membrana veziculei. Orice mecanism de recunoaștere a substanței transmițătoare specifice intraneuronale poate deosebi cu ușurință transmițători naturali (de exemplu ACh și serotonina), deoarece au proprietăți chimice aparte. Drogurile care se aseamănă suficient cu transmițătorii neuronali pot acționa ca falși transmițători. Ele sunt împachetate în vezicule și eliberate ca și cum acestea ar fi transmițători adevărați. Adesea ele se leagă slab sau de loc cu receptorii postsinaptici pentru transmiterea naturală. Eliberarea lor diminuează eficacitatea transmiterii la nivelul sinapselor specifice.

Medicamentele utilizate pentru tratarea hipertensiunii, cum sunt feniletilaminele, sunt adunate în terminalele adrenergice unde înlocuiesc norepinefrina din veziculele sinaptice. La eliberare aceste medicamente nu mai au acțiune puternică asupra receptorilor postsinaptici adrenergici, ca de exemplu norepinefrina.

Nu toate substanțele sunt eliberate de neuron prin mecanismul exocitotic.

Acidul arahidonic și eicosanoizii (prostaglandinele și metaboliții lipoxigenazei) pot traversa prin difuziune cele două păături lipidice.

Aceste substanțe pot acționa la nivelul sinapsei fie ca autocoizi, fie ca mesageri chimici. Alte substanțe ies din terminalul nervos cu ajutorul proteinelor transportoare (pompe), numai când acestea ajung la o concentrație intracelulară suficient de înaltă. Transportul invers, care are drept scop adunarea transmițătorilor din spațiul extracelular, a fost descris ca mecanism aparte în cazul eliberării glutamatului și a GABA. Acesta are loc în anumite celule retiniene. Mai există și substanțe care în doze mici traversează pur și simplu terminalul nervos. Astfel, 90% din ACh eliberată la nivelul joncțiunii neuromusculare provine din scurgerea continuă. Deoarece această scurgere este difuză, funcțional rămâne inefficientă.

Înlăturarea transmițătorilor din fanta sinaptică reprezintă un moment critic al transmiterii. În cazul în care substanța transmițătoare ar persista un timp mai îndelungat, nu ar mai fi posibilă tracerea prin sinapsă a unui nou semnal. Sinapsa devine refractară din cauza desensibilizării receptorilor prin expunerea acestora la transmițător.

Există trei mecanisme prin care țesutul nerous înlătură substanțele transmițătoare solubile sau nelegate: difuziunea, degradarea enzimatică și reabsorbția. Prin difuziune pot fi înlăturate din fanta sinaptică numai unele fracțiuni ale mesagerilor chimici. Degradarea enzimatică a substanței transmițătoare este utilizată în primul rând de sistemul colinergic. Enzima extracelulară utilizată este acetilcolinesteraza.

Deși această enzimă este importantă pentru scurtarea duratei transmiterii sinaptice, un alt rol important îl are recaptarea colinei la nivelul joncțiunii neuromusculare.

Zonele active ale terminalului nervos presinaptic sunt localizate imediat deasupra vârfului cutei joncționale musculare. Receptorii ACh sunt situați numai pe suprafața mușchiului, neextinzându-se adânc în cute, pe când esteraza este ancorată numai la nivelul membranei bazale din interiorul cutei. Ea hidrolizează ACh în colină și acetat. Acest aranjament anatomic al moleculelor îndeplinește două funcții: o funcție a esterazei este aceea de a puncta rapid mesajele sinaptice, iar cealaltă funcție se referă la recaptarea colinei, care altfel poate fi pierdută din fanta



sinaptică prin difuziune. După hidrolizare, colina este menținută într-o concentrație mică în rezervoarele din cutele joncționale, de unde este trimisă în terminațiile nervoase colinergice printr-un mecanism de absorbție.

Există multe căi enzimatice care degradează substanțele transmițătoare în țesutul neuronal și neneuronal. Aceste enzime, importante pentru controlarea concentrației transmițătorului din neuron sau pentru inactivarea transmițătorului difuzat în fanta sinaptică, nu sunt implicate direct în transmiterea sinaptică. Multe din aceste căi degradative au importanță clinică, deoarece constituie locuri de acțiune ale medicamentelor și de stabilire a diagnosticelor.

De exemplu, inhibitorii monoamin-oxidazelor, care blochează degradarea transmițătorilor aminici din celule, sunt utilizați în mod curent pentru controlul hipertensiunii arteriale și pentru tratarea depresiei. Un alt exemplu este acela al enzimei intracelulare catecol-O-metiltransferazei, importantă pentru degradarea aminelor biogenice. Ea poate fi descoperită în citoplasma celor mai multe celule, inclusiv în neuroni, dar este mai evidentă în rinichi și ficat. Concentrarea metaboliților enzimatici în fluidele corpului servește drept indicație diagnostică indirectă asupra eficacității medicamentelor care afectează sinteza sau degradarea aminelor biogenice la nivelul țesutului nervos.

O caracteristică postsinaptică, care deosebește peptidele neuroactive de transmițătorii cu moleculă mică, este rata lor înceată de eliberare și înlăturare. Singurele mecanisme de înlăturare a peptidelor sunt: difuziunea și proteoliza peptidazică extracelulară. Înlăturarea înceată a peptidelor contribuie la prelungirea duratei de acțiune.

Reabsorbția unei substanțe transmițătoare din fanta sinaptică este mecanismul cel mai comun de inactivare. La nivelul terminalelor nervoase se află mecanismele de absorbție a transmițătorilor cu cea mai mare afinitate. Aceste mecanisme sunt mediate de moleculele transportoare din membrana terminalelor nervoase sau de celulele gliale cu o constantă de legare de  $25\mu\text{M}$  sau mai puțin. Mecanismele de absorbție cu înaltă afinitate au fost descrise prima dată pentru norepinefrină, dopamină și serotonină.

Aceste mecanisme de absorbție sunt caracteristice unor anumiți neuroni. Astfel, neuronii noncolinergici nu adună colina cu afinitate crescută, iar unele psihotrope puternice blochează aceste procese de absorbție (de exemplu cocaina pentru norepinefrină și antidepresivele triciclice ca imipramina pentru serotonină).

Aplicarea unor medicamente corespunzătoare care blochează absorbția prelungeste și întărește acțiunea aminelor biogene și a GABA.

În ultimii ani au fost caracterizate multe molecule transportoare a iferitelor substanțe. În categoria primelor intră  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , ATP-azele precum și numeroase permeaze bacteriene (de exemplu cele transportoare pentru glucoză). Proteinele cu răspândire membranară trec prin membrana celulară de mai multe ori. Ca majoritatea proteinelor membranare, la eukariote aceste molecule sunt glicozilate în numeroase locuri care aparțin domeniului extracelular.

Transportorii care adună transmițătorii depind de schimburile ionice, în special de  $\text{Na}^+$  și operează prin utilizarea energiei ATP.

Prin urmare, comunicarea sinaptică depinde de două clase de molecule: de mesagerii chimici și de receptori cu poartă chimică. Până acum am putut vedea modul în care mesagerii chimici sunt împachetați în veziculele neuronului.

Aceste vezicule au roluri diferite în ciclul celor două clase majore de mesageri chimici - transmițătorii cu moleculă mică și peptidele neuroactive. După sinteza lor cataplasmică, transmițătorii cu moleculă mică sunt preluați și concentrați în vezicule, care îi protejează împotriva degradării enzimatice intracelulare, dar care au rolul de a menține în citoplasmă un nivel constant de substanțe transmițătoare.

Deoarece terminalele nervoase au o concentrație înaltă de vezicule sinaptice și deoarece conținutul acestora este eliberat în mod continuu, este de așteptat ca o mare parte din transmițătorul cu moleculă mică din neuron să fie sintetizat la nivelul acestor terminale.

În contrast, precursorii proteici ai peptidelor neuroactive sunt introduși în corpul celulelor numai în timpul sintezei. În ultimă instanță ei sunt împachetați în granule sectorii și în vezicule sinaptice, care sunt transportate din corpul celular către terminale.

Spre deosebire de veziculele care conțin transmițători cu moleculă mică, aceste vezicule nu mai sunt reumplute la nivelul terminalelor.

Funcția diferitelor vezicule variază considerabil la diferite tipuri de neuroni. Cu excepția neuronilor care eliberează transmițătorii prin difuziune sau prin mecanisme transportoare, veziculele mediază eliberarea mesagerilor chimici prin exocitoză. Pare axiomatic faptul că înțelegerea strategiei moleculare a transmițătorilor chimici începe cu identificarea conținutului veziculelor sinaptice. Astfel, numai o moleculă eliberată poate activa un receptor, dar nu toate moleculele eliberate de către neuron sunt mesageri chimici. Pot servi ca transmițători numai moleculele capabile să se lege de receptori corespunzători (Schwartz, 1991).

Veziculele ce stochează și eliberează neurotransmițătorii cu moleculă mică sunt permanent reciclate, adică refolosite.

După unirea lor cu membrana sinaptică și eliberarea mediatorului membrana veziculelor se integrează practic în membrana sinaptică.

Totuși, în câteva secunde sau minute, această porțiune de membrană se invaginează spre interiorul terminației presinaptice pentru a forma noi vezicule, prin faptul că ea conține încă proteinele de transport necesare pentru a concentra noile molecule de neurotransmițător în vezicule.

### **Maladii ale transmiterii chimice de la nivelul sinapsei nerv-mușchi : miastenia gravis**

Multe maladii umane disrup transmiterea chimică între neuroni și celulele lor țintă. Analizarea acestor anomalii de transmitere sinaptică asociată bolilor umane este relevantă pentru mecanismele de funcționare a sinapsei normale.

Cea mai studiată maladie care afectează transmiterea sinaptică este miastenia gravis. Această tulburare dată de disfuncția sinaptică dintre neuronii motori colinergici și mușchii scheletici este cauzată de reducerea numărului receptorilor ACh de la nivelul sinapsei nerv-mușchi.

Primul caz bine documentat de miastenie gravis a fost raportat în 1877 de Wilks. Prin 1900, neurologii au descris caracteristicile clinice mai importante ale acestei boli. La cazurile autopsiate cu miastenie gravis nu s-au găsit modificări



cerebrale, medulare, de nervi periferici sau musculare, fapt datorită căruia maladia a fost considerată funcțională.

Ulterior s-a constatat că miastenia gravis este o afecțiune autoimună, în care se produc anticorpi împotriva receptorilor acetilcolinici nicotinici. Acești anticorpi diminuează transmiterea sinaptică prin reducerea numărului receptorilor funcționali sau prin împiedicarea interacțiunii ACh cu receptorii. În astfel de condiții diminuează mult forța musculară.

După Rowland (1991) această slăbire musculară are patru caracteristici:

1. Diminuarea forței musculare afectează adesea mușchii cranieni ai pleoapelor, ochilor, orofaringelui, dar și pe cei ai membrilor.

2. Spre deosebire de alte boli ale mușchilor și nervilor, severitatea slăbiciunii variază în cursul aceleiași zile, de la o zi la alta, sau chiar pe perioade lungi (perioadele de remisiune alternând cu cele de exacerbare).

3. Nu există nici un semn clinic convențional care să indice o denervare musculară similară afectării unității motorii (dispariția reflexelor tendinoase sau atrofie musculară) sau semne electromiografice de denervare.

4. Diminuarea forței musculare poate fi tratată cu medicamente care inhibă acetilcolinesteraza, enzimă care degradează ACh.

Două descoperiri făcute în anii '30 au dus la încadrarea miasteniei în rândul bolilor de transmisie neuromusculară.

Dale și colab (1934) au demonstrat că transmiterea la nivelul joncțiunii neuromusculare este mediată de ACh.

Walker (1936) a constatat că inhibitorii acetilcolinesterazei (fizostigmina și neostigmina) duc la dispariția simptomelor miasteniei gravis. Între 1941 și 1960 Harvey și colab (1941), Rowland și colab (1960), Simpson (1960) au descris în detaliu baza fiziologică a acestei maladii.

Patternul acestei anomalii se aseamănă cu patternul indus în mușchiul normal de  $\alpha$ -tubocurarină (curara), care blochează receptorii ACh și inhibă acțiunea ACh la nivelul joncțiunii neuromusculare.

Neostigmina, inhibitor al colinesterazei, crește durata de acțiune a ACh la nivelul joncțiunii neuromusculare.

După identificarea sindromului clinic s-a constatat că aproximativ 15% din pacienții adulți cu miastenie au o tumoră benignă la nivelul timusului (timom). În 1939 Blalock și colab au fost primii care au afirmat că după înlăturarea timomului, simptomatologia se ameliorează. În 1950 Blalock și Harvey au constatat că extirparea timusului pacienților cu miastenie duce la reducerea simptomelor. Acest procedeu a devenit acum o terapie standard.

Rolul imunologic al timusului a fost stabilit de abia în anii '60.

Simpson (1960) a fost unul din primii autori care a sugerat că miastenia este o boală imunologică.

Conceptul modern cu privire la miastenie a apărut o dată cu izolarea și caracterizarea receptorilor ACh nicotinici. În anul 1966, Chang și Lee au izolat de la șerpilor veninoși o alfa-bungarotoxină care duce la paralizie prin lezarea ireversibilă a receptorilor ACh de pe placa terminală. Ulterior, Changeux și colab (1971) și Miledi și colab (1971) au utilizat toxina pentru a izola și purifica receptorii ACh din oganele electrice ale țiparului electric. În 1973 Fambrough și colab au utilizat alfa-bungarotoxina radioactivă în scopul marcării receptorilor ACh

umani de la nivelul plăcii terminale. Ei au constatat mai puține locuri de legătură la nivelul mușchilor miastenici, decât la cei de control. În același an Patrick și Lindstrom au injectat la iepuri receptori purificați, în scopul utilizării anticorpilor rezultați pentru a studia proprietățile receptorilor ACh de la țipar. În acest mod s-a constatat că generarea anticorpilor a fost acompaniată de apariția la iepuri a simptomelor miastenice. Mai mult, deficitul muscular devenea reversibil prin administrarea neostigminei și a adrofoniumului (inhibitori ai colinesterazei). Ca și oamenii cu miastenie gravis, animalele erau anormal de sensibile la agenții blocați neuromusculari de tipul curarei. Ulterior, s-a arătat că sindroame similare pot fi induse și la șoareci sau alte animale prin imunizare cu proteine receptor la ACh.

Din 1975 pot fi reproduse experimental toate caracteristicile esențiale ale maladiei umane. Receptorii ACh proveniți de la peștii electrici induc miastenia gravis autoimună la șoareci, șobolani și maimuțe, fapt care sugerează că structura receptorilor ACh este mult conservată în cadrul evoluției speciilor.

După caracterizarea experimentală a miasteniei gravis, au fost descoperiți în serul pacienților cu miastenie anticorpi direcționați împotriva receptorilor ACh. În plus, în culturile de limfocite B provenite de la pacienții cu miastenie apar anticorpi față de receptorii ACh.

Ideea conform căreia anticorpii umani duc la apariția simptomelor de miastenie este susținută și de alte observații.

Injectarea repetată la șoareci a serului provenit de la pacienții cu miastenie reproduce tulburările electrofiziologice caracteristice acestei maladii, prin reducerea numărului receptorilor la ACh din mușchii scheletici.

Reducerea similară a receptorilor la ACh se obține și cu ajutorul anticorpilor monoclonali.

Drenarea limfei din canalul limfatico-toracal la adulți ameliorează simptomele de miastenie. Când acești pacienți sunt supuși plasmaferazei (procedeu prin care din sângele pacientului se separă celulele de plasma care conține anticorpi, după care i se reinjectează aceleași persoane numai celulele), simptomele se ameliorează, iar nivelul anticorpilor scade.

Prin urmare, în cazul reducerii numărului receptorilor, așa cum se întâmplă în miastenie, este puțin probabil ca o moleculă de ACh să găsească un receptor înainte de a fi hidrolizată de acetilcolinesterază.

De asemenea, și geometria plăcii terminale este modificată în miastenie. Plicaturile interioare normale de la nivelul fibrelor musculare sunt reduse, iar fanta sinaptică este mare. Acest fapt reduce posibilitatea interacției ACh cu puținii receptori funcționali. Deși terminalele presinaptice conțin o cantitate normală de ACh, eliberată prin exocitoză, transmiterea este blocată. Cu ajutorul medicamentelor care inhibă colinesteraza și lasă nehidrolizate moleculele de ACh pentru o perioadă mai lungă de timp, suficientă pentru a interacționa cu receptorii, simptomele acestei boli pot fi temporar înlăturate.

Deși anticorpii care acționează asupra subunității alfa a receptorilor ACh au un rol central în patologia miasteniei (miastenia este prototipul bolii autoimune), numeroase probleme rămân încă nerezolvate. Cine inițiază producerea anticorpilor față de receptorii acetilcolinici ? Când o persoană este infectată, anticorpii generați împotriva organismelor străine pot recunoaște și receptorii ACh.



Pierderea receptorilor se datorează probabil creșterii turnoverului și degradării receptorilor ACh. Oricum, nu există nici o relație consistentă între concentrația anticorpilor direcționați împotriva receptorilor ACh și severitatea simptomelor. Acest fapt s-ar explica prin prezența la miastenici a anticorpilor policlonali. Ei sunt produși de diferite celule B ca răspuns la diferiți determinanți antigenici, iar serul diferiților pacienți conține anticorpi cu specificități diferite (Rowland, 1991). După opinia autorului citat, reacția autoimună depinde de interacțiunea celor trei molecule din complexul trimolecular: 1) o peptidă imunogenă a receptorului ACh sau o peptidă care mimează receptorul (antigen); 2) un antigen specific al celulelor T receptoare; 3) calsa a-II-a a moleculelor complexului major de histocompatibilitate (CMH), care este exprimată pe celulele cu antigen. Celulele T devin reactive împotriva receptorilor ACh.

Aceste date deschid drumuri noi pentru terapia blonavilor care nu se ameliorează suficient cu medicamentele anticolinesterazice sau cu timectomie.

Prin urmare, miastenia gravis poate fi mai mult decât o boală.

Astăzi se știe că pacienții cu miastenie congenitală nu au anticorpi față de receptorii ACh. Prin urmare există două forme distincte de miastenie: o formă autoimună câștigată, care apare la copiii mai mari și la adulți (cu anticorpi față de receptorii ACh) și o miastenie congenitală moștenită nonimună (fără anticorpi împotriva receptorilor ACh). Chiar la adulți, anticorpii se găsesc mai mult la pacienții cu miastenie generalizată, decât la cei cu simptome musculare localizate la un singur mușchi ocular, de exemplu.

Și Engel (1984 și 1988) și Vincent și colab (1977) au arătat că miastenia este un sindrom heterogen. La unele cazuri se găsesc anomalii ale terminalelor presinaptice cu afectarea eliberării ACh, în timp ce la altele predomină tulburările presinaptice (lipsa congenitală a acetilcolinesterazei, alterarea capacității receptorilor ACh de a reacționa cu ACh sau diminuarea anormală a numărului receptorilor ACh).

Lipsa acetilcolinesterazei are caracteristici bine stabilite.

Potențialele plăcii terminale nu apar ca în miastenia gravis deoarece sunt mult prelungite, însușire care explică răspunsurile repetitive.

Studiile citochimice au relevat că acetilcolinesteraza este absentă la nivelul membranei postsinaptice. În contrast, receptorii vizualizați cu ajutorul bungarotoxinei radioactive sunt păstrați.

În sindromul de încetinire canaliculară, în care există o deficiență (prelungire anormală) în deschiderea canalelor receptoare la ACh, apare o slăbire proeminentă a musculaturii membrelor. În miastenia gravis sunt afectați aproape în mod constant mușchii ochilor și orofarinxului. Potențialele plăcii terminale din sindromul de încetinire canaliculară sunt prelungite ca în sindromul deficienței acetilcolinesterazei. Acetilcolinesteraza este prezentă și are o cinetică enzimatică normală, dar pliurile joncționale sunt degenerate, iar numărul receptorilor este redus.

Terapia curentă a miasteniei gravis este eficace, dar nu ideală.

Cu aproximativ 30 de ani în urmă, rata mortalității miasteniei era de 33%, dar acum numai puțini pacienți mor din această cauză, iar speranța de viață este aproape normală. Aceste modificări se datorează terapiei intensive, ventilației

mecanice și antibioticelor. După timectomie aproape jumătate din pacienți se situează în faza de remisie (nu mai prezintă nici un simptom de miastenie și nu consumă nici un medicament).

Metodele terapeutice viitoare sunt direcționate către pacienții care nu răspund la timectomie.

Alte tulburări de transmitere neuromusculară: blocajul neuromuscular presinaptic (facilitator)

Unii pacienți cu cancer (de exemplu cancerul pulmonar cu celule mici) prezintă diminuarea forței musculare, asociată unei afecțiuni neuromusculare care se opune miasteniei.

În locul declinului răspunsului sinaptic la stimulări repetate, acești pacienți prezintă o creștere gradată a răspunsului, fapt care duce la o stare numită blocaj neuromuscular facilitator. În acest caz, primul potențial postsinaptic de stimulare este anormal de mic. Răspunsurile subsecvente cresc în amplitudine, astfel încât potențialele de acțiune finale sumate, produse de un tren de cinci spike-uri per secundă, au amplitudine de două până la patru ori mai mare decât primul potențial.

Această tulburare numită sindromul Lambert-Eaton este atribuită prezenței anticorpilor față de canalele de  $\text{Ca}^{2+}$  cu poartă voltată de la nivelul terminalului presinaptic. Deoarece sindromul apare frecvent la pacienții cu cancer pulmonar, este relevant faptul că culturile celulare din cancerul pulmonar cu celule mici prezintă  $\text{Ca}^{2+}$  cu poartă voltată funcționale. Aceste canale pot servi ca antigen natural pentru anticorpii patogenici care distorsionează funcția la nivelul joncțiunii neuromusculare.

Șoarecii injectați cu ser provenit de la pacienții cu sindrom Lambert-Eaton prezintă anomalii electrofiziologice tipice acestui sindrom și evidențe morfologice de pierdere a zonelor presinaptice active sau a unor părți din zonele active. Pierderea canalelor  $\text{Ca}^{2+}$  cu poartă voltată poate reduce intrarea calciului în timpul depolarizării terminalelor nervoase și poate afecta eliberarea transmițătorului. În plus, pacienții se ameliorează după plasmafereză sau după un tratament cu imunosupresive, fapt care vine în sprijinul noțiunii de anticorpi circulanți, care sunt cauza sindromului.

Sindromul Lambert-Eaton apare și la pacienții fără cancer. La aceștia patogenia nu este cunoscută. Anomalii fiziologice presinaptice similare apar și în botulismul uman, iar studiile experimentale au arătat că blocajul cu toxină botulinică se asociază cu afectarea eliberării ACh.

Atât sindromul Lambert-Eaton, cât și botulismul sunt tratate cu calciu gluconic și cu guanidină, agenți care contribuie la eliberarea ACh.



## C a p i t o l u l   I I I

# ANATOMIA FUNCȚIONALĂ A SISTEMULUI NERVOS

### Introducere

După cum detaliile structurale practice relevă principiile lor funcționale, tot așa și cunoștințele de neuroanatomie aduc date fundamentale cu privire la modul de funcționare a sistemului nervos. Astăzi, multe din datele cu privire la funcțiile cerebrale înalte depind de cartografierea rafinată a circuitelor neuronale cu noile tehnici anatomice.

Introducerea în anii '50 a microscopiei electronice în neuroanatomie a dus la descoperirea structurii sinapsei și a ilustrat faptul că diferite clase de neuroni formează CONEXIUNI cu caracteristici destul de diferite. Localizarea sinapselor pe suprafața neuronului (dendritice, axonale, somatice) influențează atât funcția celulei, cât și organizarea conexiunilor neuronale.

Introducerea tomografiei cu emisie de pozitroni (TEP) și a rezonanței magnetice nucleare (RMN) a pus la dispoziție date cu privire la neuroanatomia funcțională a ființei umane în timpul experimentelor comportamentale. Ca urmare a acestui fapt, ne putem face o idee clară cu privire la regiunile cerebrale implicate în multe funcții cognitive complexe. Astfel, se poate urmări cu mare fidelitate fluxul informației senzoriale periferice prin măduva spinării și creier, transformarea sa în comandă motorie și cursul comenzii către organul efector.

Apoi, pentru înțelegerea adecvată a raportului psihic-creier, nu este suficient să ne limităm la descrierea neurotransmițătorului, a circuitelor neuronale și a organizării topografice a proiecțiilor acestora de la o regiune cerebrală la alta. Se impune și o analiză la nivel anatomic global, care să evidențieze modul de grupare a elementelor neuronale de-a lungul nevraxului și diferențierile de organizare între marile grupări de substanță nervoasă, ce prezintă o semnificație relevantă atât pentru codificarea eficientă a informației spațiale în creier, cât și pentru latura psihocomportamentală.

Este însă locul să observăm că anatomia și fiziologia clasică a sistemului nervos s-au constituit și s-au dezvoltat făcând abstracție aproape total de modul de implicare a diferitelor structuri și procese neurofiziologice în producerea vieții și activității psihice. Așa s-a ajuns la elaborarea unor modele anatomice statice (considerarea structurii în sine, ca ceva dat și inert) și a unor modele fiziologice de tip robot, în care funcționarea unui centru sau segment nervos era privită ca ceva autonom, independent de funcționarea celorlalte.

Aceasta a atras după sine îndepărtarea psihologilor de anatomişti şi fiziologii sistemului nervos şi situarea analizei psihologice în plan fenomenologic-trăirist, aceasta rămânând lipsită de una dintre cele mai importante surse de argumentare obiectivă, ştiinţifică.

De-abia în ultimile decenii s-a produs o schimbare de optică de natură să stabilească o relaţie de comunicare şi cooperare între cele trei ştiinţe, ceea ce facilitează înţelegerea adecvată a specificului raportului psihic creier.

Principiul metodologic fundamental care prezidează în prezent cercetările în domeniul ştiinţelor despre creier şi activitatea lui este cel al interacţiunii şi interdependenţei multifazice şi multinivelare. În lumina lui, o structură sau o formaţiune neuronală oarecare nu poate fi înţeleasă şi explicată decât făcând apel la trecutul său funcţional şi raportând-o la alte structuri şi formaţiuni învecinate sau îndepărtate. La rândul său, nici un act reflex individual nu poate fi analizat şi interpretat decât considerându-l ca parte componentă a activităţii reflexe unitare şi integrale a sistemului nervos. Ca urmare, locul unor delimitări rigide şi bsolutizante, pe care le operau anatomia şi fiziologia clasică, este luat în psihoneurologia contemporană, de delimitări relative de ordin eminamente logico-operaţional. Concomitent, a fost infirmată şi concepţia dualistă cu privire la organizarea şi funcţionarea sistemului nervos (Pflüger, Sherrington), care împărţea în mod tranşant sistemul nervos în două segmente diametral opuse şi incongruente: sistemul inferior (măduva spinării şi trunchiul cerebral) legat de realizarea actelor reflexe (se aveau în vedere doar reflexele necondiţionate), considerat singurul accesibil studiului sistematic cu metode obiective de laborator, şi segmentul superior (emisferele cerebrale), sediul actelor psihice în esenţa lor: spirituale, extrareflexe, extramateriale -a căror funcţionare este socotită inaccesibilă cercetărilor experimentale obiective, trebuind să rămână un fel de "zonă interzisă".

Locul acestei concepţii este luat astăzi de viziunea monistă. Potrivit acesteia, sistemul nervos, în ciuda diferenţierilor de ordin anatomic - micro şi microscopic - alcătuieşte un angrenaj funcţioanl unitar, care realizează un singur gen de activitate - activitatea reflexă - ca răspuns fiziologic sau psihic (mediat fiziologic) la stimulii din mediul intern sau extern al organismului.

Concluzia principală care decurge de aici este că nu putem vorbi de formaţiuni neuronale cu funcţie exclusiv fiziologică sau exclusiv psihică. Activitatea psihică normală, în întregul ei, reprezintă rezultatul funcţionării normale şi unitare a sistemului nervos, în întregul său. La fel şi activitatea fiziologică nervoasă. Nu se poate găsi o astfel de formaţiune cu individualitate anatomică distinctă, a cărei funcţionare să nu-şi aducă partea sa de contribuţie la edificarea sferei vieţii psihice. Fireşte, aceasta nu înseamnă cătuşi de puţin că toate formaţiunile pe care le delimităm în cadrul sistemului nervos trebuie puse pe acelaşi plan, nici în ceea ce priveşte natura transformărilor şi operaţiilor logice îndeplinite, nici în ceea ce priveşte importanţa lor în realizarea trăsăturilor integrative specifice ale psihicului uman.

Pentru înţelegerea comportamentului este necesar să apreciem modul de organizare funcţională şi anatomică a sistemului nervos.



Acesta dispune de o arhitectură complexă guvernată de seturi relativ simple de principii funcționale, organizaționale și de dezvoltare. Luate împreună aceste principii clarifică imensitatea detaliilor anatomice ale creierului.

Critereile de delimitare a segmentelor și formațiunilor care alcătuiesc sistemul nervos sunt diferite. Astfel, avem criterii de ordin topologic- pozițional și în raport cu ele se delimitează sistemul nervos central compus din creier și măduva spinării și sistemul nervos periferic compus din ganglioni și nervi periferici care se situează în afara creierului și măduvei spinării. Din punct de vedere anatomic, sistemul nervos central este separat de sistemul nervos periferic, dar funcțional ele se interconectează și acționează conjugat unul asupra celuilalt.

Sistemul nervos periferic are două componente: somatic și autonomic. Diviziunea somatică include neuronii senzoriali din rădăcina dorsală și ganglionii cranieni care inervează pielea, mușchii, articulațiile și aduc informații senzoriale către sistemul nervos central cu privire la poziția mușchilor, membrelor și a mediului din afara corpului.

Axonii neuronilor motori somatici, care inervează mușchii scheletici și care se proiectează către periferie, sunt adesea considerați ca făcând parte din diviziunea somatică, deși corpul lor celular aparține sistemului nervos central.

Componenta anatomică a sistemului nervos periferic este reprezentată de sistemul motor pentru viscere, pentru mușchii netezi și pentru glandele exocrine. El are trei subdiviziuni segregate spațial: sistemul simpatic, sistemul parasimpatic și sistemul nervos enteric. Sistemul simpatic participă ca răspuns al corpului la stress, iar cel parasimpatic acționează pentru conservarea resurselor corpului și restaurarea homeostaziei. Sistemul nervos enteric controlează funcția mușchilor netezi ai intestinelor. În interiorul sistemului nervos central se delimitează pe verticală, după același gen de criterii, segmente inferioare sau posterioare și segmente superioare sau anterioare (cefalice). Sistemul nervos central al adultului poate fi împărțit în șase regiuni anatomice dezvoltate fiecare dintr-o anumită diviziune a tubului neural. Cele șase diviziuni sunt: 1) măduva spinării, 2) bulbul rahidian, 3) puntea și cerebelul, 4) mezencefalul, 5) diencefalul și 6) hemisferele cerebrale.

O altă grupă o reprezintă criteriile de ordin genetic (filogenetic și ontogenetic). În concordanță cu acestea, se pot delimita formațiuni filogenetic vechi și formațiuni filogenetic noi, formațiuni cu maturizare ontogenetică timpurie sau primară și formațiuni cu maturizare ontogenetică târzie sau secundară. În plan funcțional, formațiunile filogenetice vechi și cu maturizare ontogenetică timpurie se leagă de realizarea unor acte reflexe simple, înăscute, iar cele filogenetice noi cu maturizare ontogenetică târzie de efectuarea unor acte reflexe mai complexe, impuse de adaptarea individuală pe baza învățării sau achiziției unei experiențe noi la condițiile aleator variabile ale mediului. Se poate deci afirma că - mărirea complexității modului de existență al organismelor animale și a gradului de dificultate al situațiilor problematice cu care le-a confruntat mediul extern a determinat însăși evoluția sistemului nervos ca mecanism de comandă - control, diferențierea lui structurală și apariția unor formațiuni noi cu capacitate informațional-integrativă (reflexă) superioară.

Urmărirea evoluției embrionare a sistemului nervos – la animalele vertebrate și la om – a dus la stabilirea unor delimitări care acoperă atât criteriile de ordin topologic pozițional, cât și pe cele de ordin anatomohistologic și fiziologic. Admițându-se că sistemul nervos este de origine ectodermică și că forma sa primară este reprezentată de un tub neural, delimitările cele mai semnificative sunt considerate cele rezultate din diferențierile anatomohistologice și funcționale, apărute din evoluția embriogenetică ulterioară a acestui tub. Astfel, se va produce o primă delimitare între porțiunea posterioară a tubului din care se va constitui măduva spinării și porțiunea anterioară veziculară. În faza finală a embriogenezei, din această veziculă primară vor rezulta cele cinci formațiuni mari, care în ordine, de jos în sus, sunt: mielencefalul, metencefalul, mezencefalul, diencefalul, și telencefalul. În cadrul fiecărei asemenea formațiuni se delimitează organizări anatomohistologice particulare, care vor dobândi specializări și roluri funcționale diferite.

Din mielencefal se dezvoltă structurile bulbului rahidian, din metencefal, în porțiunea ventrală, se dezvoltă structurile punții lui Varioli, iar în porțiunea dorsală - cerebelul; din mezencefal, în porțiunea ventrală, se diferențiază structurile pedunculilor cerebrali, iar în porțiunea dorsală, structurile cvadrigeminale (tuberculi cvadrigemeni); din diencefal se constituie structurile talamusului și hipotalamusului; și în fine, din telencefal se dezvoltă structurile emisferelor cerebrale.

Structura anatomică a fiecăreia dintre formațiunile enumerate mai sus se caracterizează printr-un indice înalt de complexitate.

Aceasta se exprimă, pe de o parte, în numărul mare de elemente neuronale componente, iar pe de altă parte, în diversitatea morfologică și funcțională a acestor elemente și în bogăția conexiunilor și interacțiunilor dintre ele. În esență, personalitatea anatomostructurală a formațiunilor sistemului nervos este dată de modul de dispunere a celor două tipuri principale de substanță - substanța cenușie, rezultată din aglomerări ale somelor celulelor neuronale și substanța albă, alcătuită din terminațiile celulelor neuronale și de ponderile pe care le au cele două substanțe. Pe lângă elementele neuronale propriu-zise în structura fiecărei formațiuni intră elemente nevrogiale (gliale), care în majoritatea lor au tot o origine ectodermică. Celulele gliale au rolul de suport structural și funcțional pentru sistemul nervos și de asemenea contribuie la restabilirea neuronilor lezați. Există două tipuri majore de celule gliale: macroglia, în care includem oligodendrocitele și astrocitele, și microglia, în care intră celulele gunoier asemănătoare macrofagelor.

Un alt tip de celulă glială este celula Schwann, care predomină la nivelul sistemului nervos periferic.

Nevroglia îndeplinește un rol important în buna funcționare a sistemului nervos: facilitează schimburile metabolice (rol neurotrofic), participă la formarea învelișului mielinic al fibrelor nervoase, asigură susținerea neuronilor și delimitarea granițelor spațiale dintre ei, facilitând conducerea influxului nervos, fagocitează celulele nervoase degenerate, având proprietatea proliferării, înlocuiește țesutul



nervos distrus și facilitează procesele compensatorii, mediază neurosecrețiile, care, potrivit cercetărilor biochimice contemporane, sunt esențiale în mecanismul general de autoreglare a activității reflexe. Rolul celulelor gliale în recuperarea funcției după agresiuni diferă la nivelul SNC și periferic. În sistemul nervos periferic macrofagele sunt atrase la locul leziunii pentru a degrada segmentul distal al axonului cu ajutorul proteazelor pe care le secretă și prin fagocitarea detritusurilor. De asemenea ele favorizează regenerarea nervului periferic prin secretarea factorilor necesari proliferării celulelor Schwann. La nivelul SNC înlăturarea detritusurilor este efectuată de celulele microgliale și astrocite.

Probabil că macrofagele nu pot penetra bariera hematoencefalică. Celulele gliale modifică și organizarea sinapselor neuronilor afectați. În regiunea din apropierea corpului celular al neuronului postsinaptic celulele gliale depărtează elementele pre și postsinaptice ale sinapselor. Ca urmare a acestui fapt numărul contactelor presinaptice se reduce, iar potențialele sinaptice excitatorii evocate în celula lezată apar mai mici ca amplitudine.

Totuși, celulele mai pot fi excitate prin sinapsele dendritice, care în cazul celulei normale sunt ineficiente. Când axonii regenerați fac conexiuni cu noi celule țintă apar și inputuri normale în corpul celulei.

Când neuronul nu poate restabili astfel de contacte cu celulele țintă neuronul moare, iar microglia înlătură resturile celulare.

Deși SNC este constituit din circa o sută miliarde de neuroni, sarcina studierii conexiunilor acestui imens număr de celule este simplificată de trei considerente.

Primul se referă la faptul că neuronii individuali nu sunt unici. De exemplu, fiecare mie de neuroni motori spinali și de celule piramidale hipocampale îndeplinesc funcții similare. Al doilea argument se sprijină pe faptul că diferite tipuri neuronale nu au distribuție randomizată, ci sunt adunați în straturi sau în grupe celulare numite nuclee, care sunt conectați între ei formând sisteme senzoriale motorii și motivaționale. Astfel, pentru înțelegerea organizării SNC uman avem nevoie (numai) de cunoașterea grupurilor nucleare majore ale diferitelor sisteme senzoriale și motorii, de aprecierea relațiilor dintre acestea, precum și de legătura lor cu sistemul motivațional al creierului.

Al treilea punct se sprijină pe cunoașterea importanței funcționale a multor grupe nucleare cheie. În prezent, anatomia creierului poate fi studiată nu numai static ci și dinamic legată de activitatea comportamentală a individului.

## I. MĂDUVA SPINĂRII

Plasată în interiorul canalului vertebral, măduva spinării reprezintă segmentul distal inferior al SNC și este filogenetic formațiunea cea mai veche. Are forma unei tije turtite antero- posterior și se întinde

pe o lungime de aproximativ 43-45 cm de la vertebra atlas ( $C_1$ ) până la a doua vertebră lombară ( $L_2$ ), terminându-se printr-un con - conul medular. Din vârful acestui con măduva se continuă printr-un filament (filum terminale) până la coccis. Acestui filament i se alătură în dumul său spre orificiile intravertebrale, într-o direcție oblică în jos, trunchiurile nervilor spinali, lombari, sacrali și coccigieni, alcătuind așa numita coadă de cal.

### Structura măduvei spinării

Măduva spinării este compusă din 31 segmente, iar fiecare segment dă naștere la câte o pereche de nervi spinali. Acești nervi conectează deferite părți ale corpului cu sistemul nervos central. În regiunea gâtului există o îngroșare medulară numită intumescența cervicală superioară sau brahială, care dă naștere nervilor brațelor, iar la nivelul măduvei lombare apare o altă îngroșare, din care iau naștere nervii picioarelor. În lungul său, măduva spinării este împărțită în două porțiuni simetrice prin cele două șanțuri mediane: șanțul median anterior și șanțul median posterior. De o parte și de alta a șanțurilor mediane, la intrările și ieșirile rădăcinilor nervilor spinali, se relevă două șanțuri superficiale: șanțul colateral anterior, care corespunde rădăcinilor anterioare și șanțul colateral posterior, care corespunde rădăcinilor posterioare. Aceste șanțuri cărora li se adaugă la nivelul măduvei cervicale și toracale superioare șanțul intermediar posterior delimitează cordoanele substanței albe.

În ceea ce privește structura anatomică internă, prima particularitate pe care o prezintă măduva spinării rezidă în modul de dispunere a celor două feluri de substanță. La o secțiune transversală observăm că substanța albă este situată în exterior, iar substanța cenușie în interior. O asemenea dispunere a celor două substanțe nu este întâmplătoare. Ea este pe deplin justificată din punct de vedere funcțional. Fiind nemijlocit conectată cu elementele receptoare cutanate și viscerale pe de o parte, și cu aparatele osteomusculare de execuție ale organismului și glandulare pe de altă parte, măduva spinării trebuie să aibă dispuse în exterior fasciculele fibrelor nervoase, atât pentru captarea adecvată a semnalelor informaționale, cât și pentru transmiterea mesajelor de comandă, de producere a reacțiilor de răspuns (motorii și secretorii). Apare foarte clar exprimată dependența modului de organizare structurală a unui segment nervos de rolul funcțional pe care-l îndeplinește în realizarea comportamentului adaptiv al organismului.

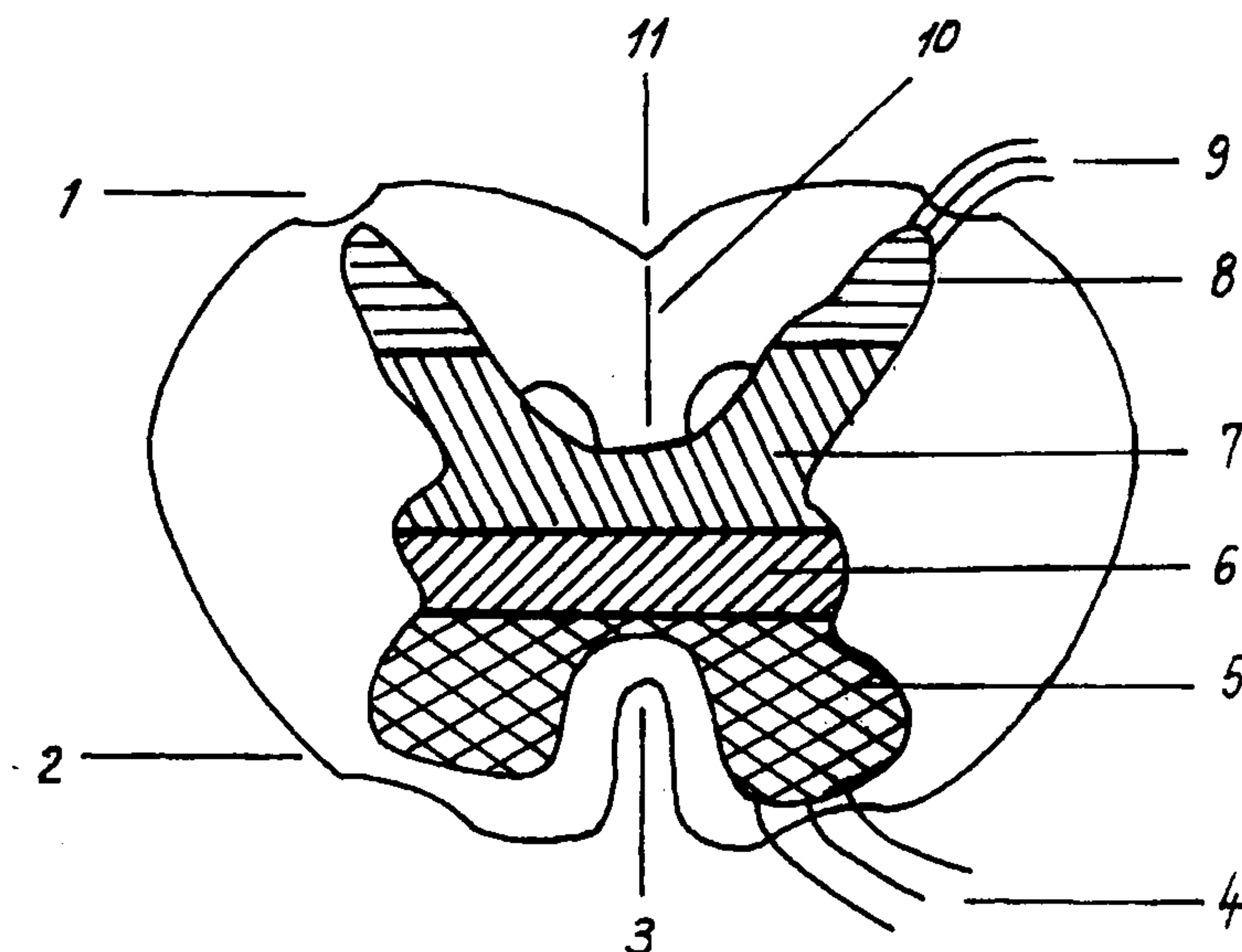
A doua particularitate a structurii anatomice a măduvei este dată de caracterul compact al substanței cenușii, care se prezintă în secțiune sub forma literei H. Mai bine spus, avem de-a face cu coloane compacte de substanță cenușie pe o direcție longitudinală.

În funcție de cele două șanțuri principale (median anterior și median posterior) se delimitează coloana anterioară și coloana posterioară. Extremitățile acestor coloane poartă numele de: coarne anterioare și coarne posterioare (Fig. 6).



**Fig. 6.** Secțiune schematică prin măduva spinării

1. Șanțul colateral posterior; 2. Șanțul colateral anterior; 3. Șanțul median anterior; 4. Rădăcina ventrală; 5. Aria somatomotorie; 6. Aria visceromotorie; 7. Aria viscerosenzitivă; 8. Aria somatosenzitivă; 9. Rădăcina dorsală; 10. Septul median; 11. Șanțul median posterior.



Cornul medular anterior are un aspect neregulat și conține neuroni cu corp celular mare care dau naștere fibrelor motorii, ajungând prin nervul spinal la mușchii scheletici. Cornul medular dorsal este mai lung și mai subțire decât cel ventral. Între capul cornului dorsal și periferia măduvei se interpune o lamă subțire de substanță albă numită zona marginală a lui Lissauer. Imediat ventral de zona lui Lissauer se află o bandă subțire de substanță cenușie numită stratul zonal al lui Waldeyer, iar ventral de acest strat se află substanța gelatinoasă a lui Rolando, care primește în concavitatea sa capul cornului dorsal. La joncțiunea cornului dorsal cu comisura cenușie se află coloana veziculară a lui Clarke, care se întinde de la al 8-lea nerv cervical până la al 2-lea nerv lombar. Cornul lateral este o mică ieșitură de substanță cenușie situată la partea dorsolaterală a cornului ventral (Fig. 7).

Pentru înțelegerea funcțiilor care-i revin, descrierea substanței cenușii trebuie completată cu datele de histofiziologie. Astfel, anterior canalului ependimar situat centromedular, avem zona motorie, iar posterior acestuia zona senzitivă. Aceste două teritorii, motor și senzitiv, se subdivid fiecare într-o arie somatică periferică și o arie vegetativă centrală. În teritoriul motor întâlnim o arie somatomotorie, care corespunde capului cornului ventral și care participă la inervația mușchilor scheletici și o arie visceromotorie, care corespunde bazei cornului ventral și comisurii cenușii preependimare. Aici găsim centrii de origine motorie ai simpaticului.

În grosimea cornului ventral se găsesc neuronii striomotori (pentru mușchii striati) ale căror prelungiri formează rădăcinile ventrale ale nervilor spinali (Fig. 8). În cornul ventral se găsesc și neuroni ale căror prelungiri trec prin substanța albă a cordoanelor (neuroni cordonali) și fac legătura cu diversele etaje ale măduvei. Neuronii cordonali sunt de trei feluri: omolaterali (leagă două etaje ale măduvei de aceeași parte a liniei mediane), heterolaterali (leagă un etaj dintr-o parte a măduvei cu un alt etaj situat de cealaltă parte a liniei mediane și bilaterali (prelungirile acestor neuroni se duc la ambele jumătăți ale măduvei).

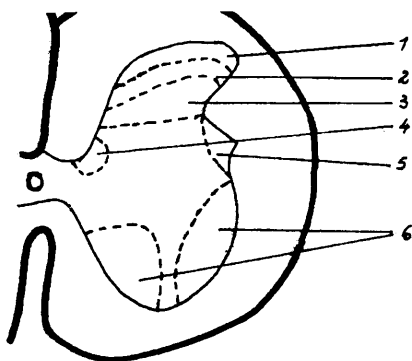


Fig. 7 Nucleei mai importanți din segmentele toracic și lombar

1. Zona Marginală; 2. Substanța gelatinoasă; 3. Nucleul propriu; 4. Nucleul lui Clarke; 5. Nucleul intermediolateral; 6. Nucleei motori

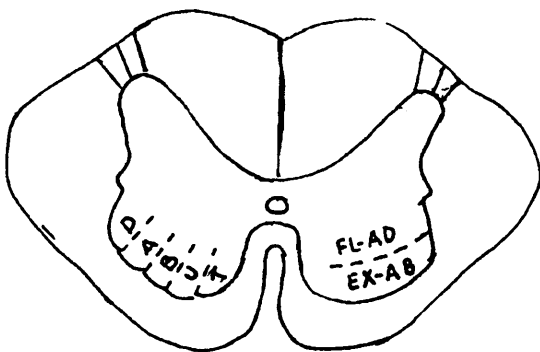


Fig. 8. Secțiune la nivelul C, Somatotopia din substanța cenușie a cornului anterior  
D= degete; A= antebraț; B= braț; U= umăr;  
T= trunchi

FL-AD= flexori și adductori din porțiunea dorsală a cornului anterior.

EX-AB= Extensori și abductori din porțiunea ventrală.

La nivelul cornului ventral există și neuroni de asociație a diverselor etaje medulare, fără ca fibrele acestora să părăsească substanța cenușie.

În teritoriul senzitiv, deosebim o arie viscerosenzitivă care cuprinde comisura cenușie retroependimară, baza cornului dorsal, cornul lateral în care se termină fibrele sensibilității viscerele și o arie somatosenzitivă care cuprinde cea mai mare parte a cornului dorsal, unde se termină fibrele care transportă spre măduvă sensibilitatea proprioceptivă și sensibilitatea cutanată (tactilă, termică și dureroasă).

Se poate constata că ariile vegetative se interpun între aria somatomotorie și cea somatosenzitivă, fapt datorită căruia această zonă vegetativă din substanța cenușie medulară a luat numele de "substanța intermedia".

În realitate, subîmpărțirea "substanței intermedia" într-o arie visceromotorie și una viscerovegetativă corespunde mai mult unei cerințe de ordin didactic, deoarece la acest nivel centrii vegetativi senzitivi (receptori) se întrepătrund cu cei motori (efectori), făcând dificilă separarea în această zonă vegetativă a ariei motorii de cea senzitivă. În această regiune se găsesc neuroni cu aspect tipic de



celule vegetative, ce dau naștere fibrelor motorii ale nervilor simpatici și care se numesc neuroni lissomotori. Prelungirile axonice ale acestor neuroni trec de-a lungul rădăcinilor ventrale ale nervilor spinali și prin ramurile comunicante albe, pentru că în final să ajungă la lanțul simpatic laterovertebral. Acești neuroni alcătuiesc în lungul ariilor vegetative ale substanței cenușii două coloane longitudinale și paralele: coloana intermediară laterală (localizată în cornul lateral al măduvei) și coloana intermediară centrală sau medială. În coloana intermediară laterală, la nivelul măduvei cervicale inferioare și toracale superioare (între C<sub>8</sub> și T<sub>3</sub>), se găsește centrul iridodilatator sau centrul ciliospinal al lui Budge, ceva mai jos întâlnim un centru cardiac, iar în măduva toracică inferioară un centru splanhnic. În măduva sacrată, sub S<sub>3</sub>, se găsește nucleul simpatic inferior al lui Jacobson, care dă inervația simpatică a viscerelor pelviene (rect, vezică, vezicule seminale, etc.).

Coloana intermediară medială este considerată de unii autori ca fiind de origine simpatică, iar de alții parasimpatică.

Laruelle a descris o altă coloană vegetativă sacrată situată pe partea medială a cornului ventral, ai cărei axoni se îndreaptă de-a lungul ramurilor plexului sacrat către viscerele pelvisului, cărora le asigură inervația parasimpatică. Acest centru reprezintă sediul unor acte reflexe de micțiune, defecare, funcție genitală etc.

Unii autori afirmă că centrii parasimpatici se află pe toată lungimea măduvei, iar fibrele lor părăsesc măduva de-a lungul rădăcinilor dorsale ale nervilor spinali.

În ariile vegetative ale substanței cenușii întâlnim și celule vegetative care primesc impresii senzitive legate de viața vegetativă precum și numeroși neuroni cordonali și intercalari.

- Aria somatosenzitivă cuprinde cea mai mare parte a cornului dorsal.

În interiorul ei se găsesc numeroși neuroni intercalari, care se articulează în parte cu neuronii striomotori ai cornului ventral legând în felul acesta cornul dorsal senzitiv de cel ventral motor, formând astfel substratul anatomic al arcului reflex.

Neuronii cordonali se află repartizați în capul cornului dorsal, la nivelul coloanei veziculare a lui Clarke sau chiar în baza cornului sub formă de nuclei. La aceștia se termină majoritatea fibrelor senzitive ale rădăcinii dorsale a nervului spinal, care aduc impulsuri de la diverse forme de sensibilitate. De la nivelul lor pornesc alte fibre, care trec într-unul din coloanele măduvei și formează diferite tracturi senzitive, care urcă spre segmentele superioare ale nevraxului. În afara celulelor nervoase descrise, în substanța cenușie a măduvei, există și fibre nervoase amielinice reprezentate de: axonii neuronilor intercalari; axonii celulelor cordonale, care părăsesc substanța cenușie pentru ca, după un anumit tract de-a lungul cordoanelor de substanță albă, să revină în substanța cenușie a unui etaj diferit de cel de origine; fibrele rădăcinilor ventrale ale nervilor rahidieni (axonii celulelor striomotorii și ai celor lissomotorii); fibrele rădăcinilor dorsale ale nervilor spinali, care se termină în neuronii cornului dorsal; și porțiunea terminală a fibrelor corticospinale și subcorticospinale, care sfârșesc în neuronii striomotori ai măduvei.

## Arhitectura lamelară a substanței cenușii

Substanța cenușie a măduvei spinării are formă de fluture și conține corpii celulari ai neuronilor spinali. Substanța albă din jur este formată din axoni care urcă sau coboară din creier, majoritatea fiind mielinizați.

Funcțional, substanța cenușie a măduvei spinării este împărțită în trei regiuni: cornul dorsal, zona intermediară și cornul ventral.

După cum am văzut, la nivelul cornului dorsal se află interneuronii și proiecțiile lor ascendente, care transmit informațiile senzoriale primite, nivelurilor mai înalte din sistemul nervos.

Substanța cenușie a cornului ventral conține interneuroni și neuroni motori ce controlează mușchii trunchiului și membrilor. Substanța cenușie a zonei intermediare conține neuroni autonomi preganglionari ce mediază controlul funcțional visceral și neuroni care transmit informații aferente la cerebel.

Pe baza dimensiunii formei, a caracteristicilor citologice și a densității neuronilor Rexed (1952) a propus subdiviziunea substanței cenușii a măduvei spinării în 10 straturi sau lamele (laminae) (fig. 9).

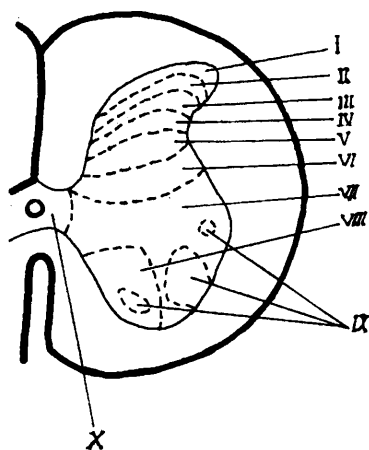


Fig. 9. Detaliile anatomice ale straturilor substanței cenușii din segmentul lombar

Straturile sunt aranjate aproape paralel cu limitele dorsală și ventrală ale substanței cenușii, precum și cu o anumită regiune pericanaliculă.

Confirmarea aspectului lamelar (stratificat) la om a fost făcută de Schoenen în anul 1973. Această clasificare a dăinuit datorită faptului că ulterior s-a demonstrat că neuronii straturilor respective au funcții și proiecții diferite.

Straturile I-VI coprespund cornului dorsal, stratul VII echivalează în linii mari cu zona intermediară, iar straturile VIII-IX aparțin cornului ventral. Stratul X se referă la substanța cenușie din jurul canalului central.



Redăm în continuare anatomia și funcția acestor straturi.

Stratul I, foarte subțire și prost definit, prezintă un aspect reticular determinat de mănunchiurile fibrelor nervoase care îl întretaie.

Corpii neuronali mici, intermediari și mari au în majoritate un aspect fuziform. Denumit stratul lui Waldeyer sau zona marginală, localizată în regiunea cea mai superficială a cornului dorsal, are un rol important în transmiterea senzației termice și dureroase.

Stratul II conține numeroși neuroni mici traversați de grupurile fasciculare ale funiculului dorsal. Acest strat are o zonă dorsală de culoare închisă și o zonă ventrală palidă. Stratul II sau substanța gelatinoasă primește informații aferente de la fibrele nemielinizate și le integrează cu cele ale fibrelor aferente subțiri mielinizate care se proiectează în stratul I.

Stratul III are neuroni mult mai mari, mai variați și mai rari.

Stratul IV, mai afânat și mai heterogen, este traversat de numeroase fibre. Corpii neuronilor, foarte diferiți ca formă și mărime sunt mici, rotunzi, triunghiulari intermediari și stelați mari. Straturile I-IV corespund capului cornului dorsal. Nucleul propriu al cornului dorsal, rău definit, corespunde unor porțiuni din straturile III și IV. Fiziologic, straturile I-IV reprezintă zonele receptoare principale (primare) pentru terminațiile aferente exteroceptive (cutanate) de la corp și membre. Aici își au originea și câteva tracturi (exemplu tractusul spinotalamic), care transmit impulsurile sensibilității somatice către centrii nervoși superiori. Tot de aici pornesc și multe căi polisinaptice complexe, ipsilaterale și contralaterale, intrasegmentare și intersegmentare.

Stratul V include gâtul cornului dorsal. El este divizat într-o treime laterală și două treimi mediale. Ambele au populații celulare eterogene, dar prima conține o multitudine de celule proeminente bine colorate, amestecate cu numeroase fascicule transverse și fibre longitudinale și dorsoventrale. Termenul de formațiune reticulată atribuit acestei regiuni, mai proeminentă la nivel cervical, datează din timpul lui Deiters (1865).

Stratul VI este mai evident la nivelul dilatării membrelor. El se compune dintr-o treime medială formată din grămezi neuronale și două treimi laterale, formată din pachete laxe de neuroni stelați și triunghiulari. Stratul VI corespunde bazei cornului dorsal. Straturile V și VI primesc majoritatea terminațiilor aferente proprioceptive primare, de la trunchi și membre, precum și proiecțiile fibrelor descendente corticospinale provenite din cortexul motor senzitiv și de la formațiunile subcorticale. Aceste conexiuni sugerează implicarea strânsă a regiunii respective în integrarea reflexelor de reglare a preciziei mișcărilor. Stratul VII conține nucleul lui Clarke prezent în segmentele toracic și lombar superior. El transmite cerebelului informația cu privire la poziția și mișcarea membrelor. Nucleul intermediolateral localizat tot în segmentele toracic și lombar superior conține neuroni preganglionari autonomi.

Prin urmare, funcția părții laterale a stratului VII, care are multiple legături ascendente și descendente cu cerebelul și mezencefalul (via tractusurile spinocerebellos, spinotectal, spinoreticular, tectospinal, reticulospinal și rubrospinal) este aceea de a regla postura și mișcarea. Porțiunea sa medială are multe conexiuni reflexe proprioceptive cu substanța cenușie adiacentă și cu segmentele legate de mișcare și funcțiile autonome. Porțiunea stratului VII extinsă ventral, în cornul anterior, este o zonă inhibitoare, unde predomină celulele Renshaw (Renshaw, 1946).

Stratul VIII, restrâns la aspectul medial al dilatației membrelor, formează baza cornului ventral. El conține corpii celulari ai interneuronilor propriospinali, care primesc terminale din structurile adiacente, terminale comisurale de la stratul VIII contralateral și conexiuni descendente de la tracturile interstițiospinal, reticulospinal, vestibulospinal și de la fasciculul longitudinal medial. Axonii lor influențează neuronii motori din ambele părți, fie direct, fie prin intermediul neuronilor mai mici a căror excitare alimentează fibrele eferente gama pentru fuserile musculare. Prin urmare, interneuronii acestui strat prezintă importanță pentru reglarea contracției mușchilor scheletici și pentru modelarea activității motorii.

Stratul IX este constituit dintr-o masă complexă de coloane, printre care se află neuroni mari (motori) alfa și neuronii mici. Celulele mici sunt reprezentate de neuronii motori ale căror fibre eferente cu diametru mic (eferențe gama) sunt destinate fuserilor musculare și de interneuronii Renshaw inhibitori.

Neuronii gama (motori) sunt dispersați printre neuroni alfa din coloanele motorii (Nyberg-Hansen, 1965).

Caracteristicile și localizarea celulelor Renshaw rămân incerte.

Înregistrările intracelulare relevă prezența interneuronilor inhibitori la nivelul extinderii ventrale a stratului VII insinuată între stratul VIII și IX (Willis și Willis, 1966).

Neuronii motori alfa inervează plăcile terminale motorii ale fibrelor musculare extrafuzale din unitățile motorii ale mușchiului striat.

Dimensiunile lor sunt variabile. Tehnicile de înregistrare au demonstrat existența a două tipuri de neuroni alfa, tonici și fazici (Granit și colab., 1956). La neuronii mai mici tonici rata de stimulare și viteza de conducție sunt joase. Neuronii motori mari (beta) inervează fibrele extrafuzale și intrafuzale. Neuronii motori gama inervează fibrele intrafuzale din fusul muscular. Aceștia au fibre fuzimotorii statice și dinamice ce controlează răspunsurile statice și dinamice ale fusului muscular. Histologic, diferențierea neuronilor motori gama este imposibilă, deși terminalele acestora din nervii mușchilor (Boyd, 1962) împreună cu cele două varietăți de fibre nervoase eferente gama mielinizate (gama 1 și gama 2) pot fi recunoscute. Prin urmare, stratul IX reprezintă zona motorie primară a substanței cenușii. Ea se compune din motoneuroni reuniți în grupe funcționale, care formează veriga finală a reflexelor măduvei spinării. Stratul IX, constituit din nucleii motori ai cornului ventral, conține deci neuroni motori, care inervează mușchii scheletici.



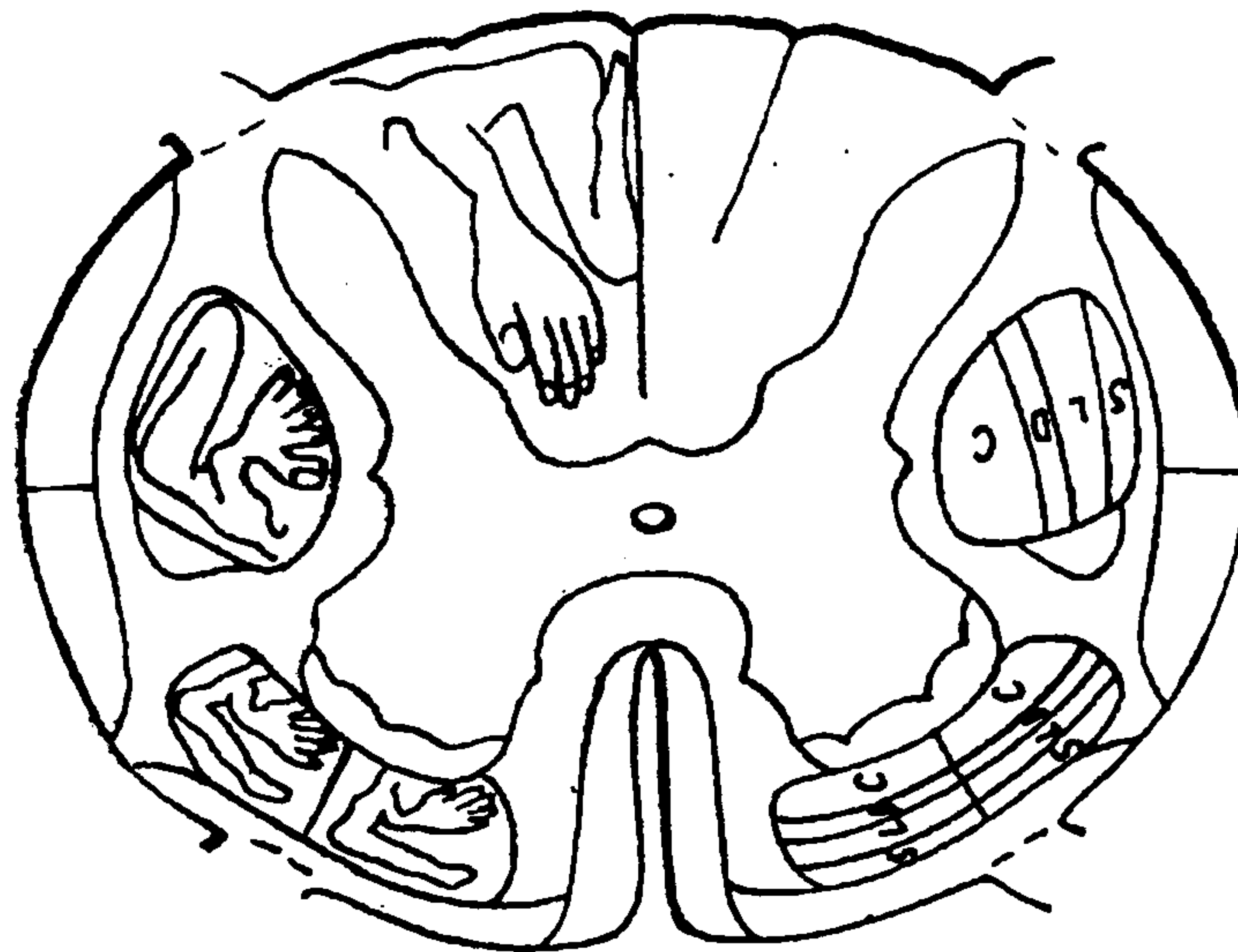
Stratul X, dispus în jurul canalului central, include comisura cenușie ventrală, comisura cenușie dorsală și substanța gelatinoasă centrală. Celulele gliale și fibrele comisurale îndeplinesc, cu precădere, funcția de legătură și transfer. Stratul X primește inputuri aferente similare celor din stratul I și II.

## Substanța albă

Între substanța cenușie și periferia măduvei se găsește substanța albă, formată din fibre nervoase cu teacă de mielină. Ea este dispusă în trei cordoane simetrice (Fig. 10):

**Fig. 10** Tracturile măduvei spinării

1. Tractul (T) vestibulo- spinal;
2. Tractul olivo-spinal;
3. Tractul spino-cerebelos anterior;
4. Tractul spino-cerebelos lateral;
5. Tractul spino-talamic lateral;
6. Tractul spino-cerebelos posterior;
7. Tractul corticospinal lateral;
8. Tractul Burdach;
9. Tractul Goll;
10. Cornul posterior;
11. Canalul ependimar;
12. Comisura cenușie;
13. Cornul anterior;
14. Tractul cortico-spinal anterior.



- Cordonul anterior, între șanțul median anterior și șanțul colateral anterior, conține tracturi descendente (corticospinal ventral sau piramidal direct al lui Turck, vestibulospinal, tractospinal, reticulospinal ventral), tracturi ascendente (spinal-talamic anterior) și tracturi de asociație (tractul restant sau fundamental).

- Cordonul lateral situat între șanțul colateral anterior și șanțul colateral posterior conține tracturi descendente (corticospinal sau piramidal încrucișat situat în jumătatea posterioară a cordonului lateral, rubrospinal, olivospinal, vestibulospinal, reticulospinal lateral), tracturi ascendente (spinocerebelos dorsal sau cerebelos direct al lui Flechsig, spinocerebelos ventral sau cerebelos încrucișat (preependimar) al lui Gowers, spinal-talamic lateral - format din axonii celulelor capului cornului dorsal încrucișați retroependimar, care, după ce fac sinapsă în talamus, ajung la scoarța cerebrală a girusului postcentral- spinotectal) și tracturi de asociație (intersegmentar lateral profund format din axonii neuronilor din substanța cenușie, ce intră în substanța albă a cordonului lateral de aceeași parte sau de partea opusă).

- Cordonul dorsal este format din două categorii de tracturi ascendente și descendente. Din prima categorie face parte tractul lui Goll și tractul lui Burdach. Tractul lui Goll este format din fibre provenite din rădăcina dorsală a nervului spinal, care se așează de o parte și de alta a septului median dorsal. Acestea urcă până la bulb unde fac sinapsă cu celulele nucleului lui Goll, a căror axoni se încrucișează formând încrucișarea senzitivă a lui Spitzka și apoi banda lui Reil medială sau lemniscul medial. Acest tract transportă sensibilitatea profundă (Fig. 11).

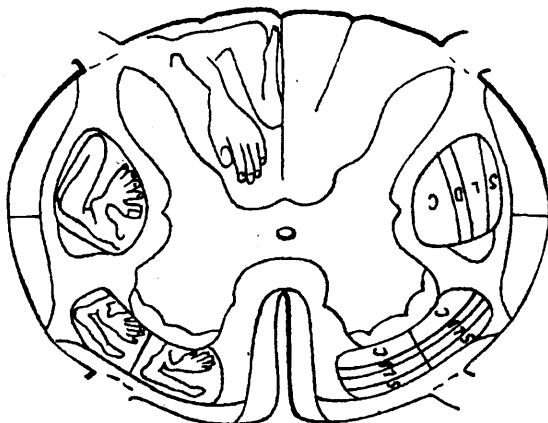


Fig. 11. Somatotopia fibrelor din fasciculele spinale

Tractul lui Burdach este format din fibre provenite tot din rădăcina dorsală a nervilor spinali, care urcă în bulb până la nucleul lui Burdach unde fac sinapsă cu neuronii de aici. Axonii acestor celule se încrucișează, după care împreună cu cei proveniți din nucleul lui Goll formează lemniscul medial.

Din a doua categorie a tracturilor descendente fac parte: tractul lui Schultze, bandelela periferică a lui Hoche, centrul oval al lui Flechsig și tractul triunghiular al lui Gombault și Philippe.

Aceste fibre au caracter segmentar. În afara fibrelor exogene provenite din rădăcina dorsală a nervului spinal, în cordonul dorsal găsim și un al doilea grup de fibre care iau naștere din celulele cordonale sau de asociație ale substanței cenușii. Acestea intră în cordonul dorsal formând grupa fibrelor endogene. După un traseu scurt, ramul ascendent și descendent al acestora se îndoaie și se îndreaptă în adâncime, intrând din nou în substanța cenușie a măduvei unde fac sinapsă cu neuronii de aici. Ramurile endogene ascendente se grupează într-un tract, în unghiul dintre comisura cenușie și cornul posterior, denumit tractul ventral al cordonului dorsal.

Ramurile descendente ale fibrelor eterogene formează: a) la nivelul măduvei cervicale și toracale superioare, în grosimea tractului lui Burdach, tractul în virgulă al lui Schultze, b) la nivelul măduvei toracale inferioare, bandelela primitivă a lui Hoche; c) în regiunea lombară, centrul oval al lui Flechsig ; d) iar la nivelul măduvei sacrate tractul medial al lui Gombault și Philippe.

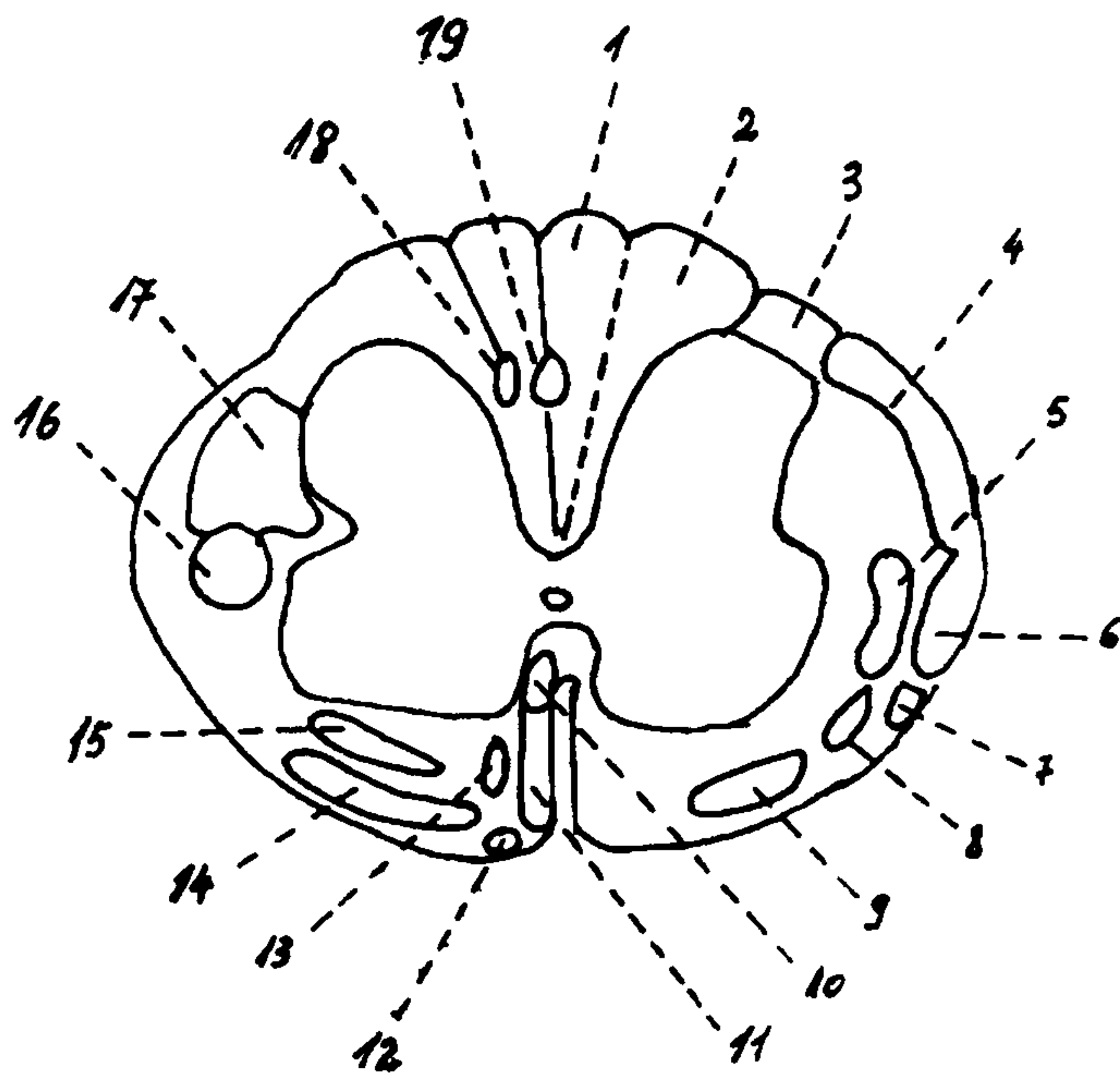


În general, direcția fibrelor din substanța albă poate fi : longitudinală (în cordoane), transversală (în comisura albă), și oblică (în rădăcinile nervilor spinali). După origine, fibrele ai căror neuroni se află în interiorul măduvei sunt endogene iar cele ai căror neuroni se situează în alte segmente ale SNC sunt exogene.

Fibrele endogene sunt fibre de asociație scurte, neieșind din perimetrul măduvei. Ele fac legătură între diferite segmente medulare, formând tracturile menționate. Fibrele de proiecție lungi ies din perimetrul măduvei, mergând la diferite segmente ale encefalului. Fibrele exogene își trag originea din ganglionii nervoși periferici și din centrii encefalici. Ele alcătuiesc magistralele senzitive și motorii ale SNC. După rolul funcțional și direcția de transmitere a influxului nervos se împart în: a) fibre ascendente sau centripete, prin care influxul nervos se transmite de la zonele periferice (receptoare) ale corpului spre encefal; b) fibre descendente sau centrifuge, prin care influxul nervos de la centrii encefalici se transmite spre periferie (îndeosebi spre organele exclusive-mușchi și glande) (Fig 12).

**Fig. 12.** Diagrama căilor ascendente și descendente ale măduvei spinării. Fasciculus proprius și fasciculus dorsolateral conțin fibre ascendente și descendente.

1. Fasciculus gracilis; 2. Fasciculus cuneatus; 3. Fasciculus dorsolateral; 4. Tractul spinocerebelos; 5. Tractul spinothalamic lateral; 6. Tractul spinocerebelos anterior; 7. Tractul spinoolivar; 8. Tractul spinotectal; 9. Tractul spinothalamic anterior; 10. Fasciculus longitudinal medialis; 11. Tractul corticospinal anterior; 12. Tractul tectospinal; 13. Tractul reticulospinal pontin; 14. Tractul vestibulospinal; 15. Tractul reticulospinal medular; 16. Tractul rubrospinal; 17. Tractul corticospinal lateral; 18. Fasciculus interfascicularis, 19. Fasciculus septomarginalis.



## Nervii spinali

Pentru înțelegerea adecvată a fiziologiei medulare este necesar să relatăm câteva date sumare cu privire la anatomia nervilor spinali, care sunt formați dintr-o rădăcină ventrală și una dorsală. Rădăcina ventrală își are originea reală în neuronii striomotori din cornul anterior și este formată din axonii care ies prin șanțul colateral-ventral al măduvei (originea aparentă). Aceste fibre suntacompaniate de fibre simpatice plecate din neuronii lissomotori ai regiunilor medulare vegetative.

Rădăcina dorsală intră în măduvă prin șanțul colateral dorsal și este formată din prelungirile celulelor nervoase situate în ganglionii spinali. Aceste celule au o singură prelungire care se desface în T. Prolungirea cu funcție dendritică se unește la nivelul orificiului de conjugare cu rădăcina ventrală pentru a forma nervul spinal propriu-zis, iar cealaltă prelungire se duce spre măduvă unde participă la formarea rădăcinii dorsale sau senzitive a nervului spinal. Originea reală a rădăcinii dorsale se află în ganglionul spinal. Prin urmare, alcătuirea nervilor spinali este mixtă, cuprinzând fibre atât senzitive, cât și motorii (somatice și vegetative).

La ieșirea din orificiul vertebral, ei se împart în patru ramuri: posterioară, anterioară, viscerală și meningeală. Ramura posterioară asigură inervația pielii (trunchiului și membrelor), glandelor (sudoripare, sebacee), vaselor sanguine și mușchilor din partea posterioară a trunchiului și din regiunile parietală și occipitală

ale capului. Ramura anterioară, mai voluminoasă, realizează inervația aceluiași elemente ca și cea posterioară, dar din regiunile cervicală, temporală, auriculară, din părțile superioare, laterale și anterioare ale toracelui și abdomenului, precum și inervația membrelor superioare și inferioare. Ramura viscerală conține numai fibre vegetative, prin care se face legătura SN vegetativ cu SNC. Ramura meningeală se reîntoarce prin orificiul de conjugare în canalul neural și realizează inervația meningelui (Fig. 13 și 14).

### Căile senzitive

Măduva spinării reprezintă o verigă importantă în sistemul general al sintezei aferente, al integrării funcției sensibilității. La nivelul ei, se delimitează o serie de tracte care asigură conducerea semnalelor de la zonele receptoare ale corpului către centrul nervos integrativ superior: talamus și scoarța cerebrală. Prin rădăcina dorsală (senzitivă) se transportă excitațiile către centru de la

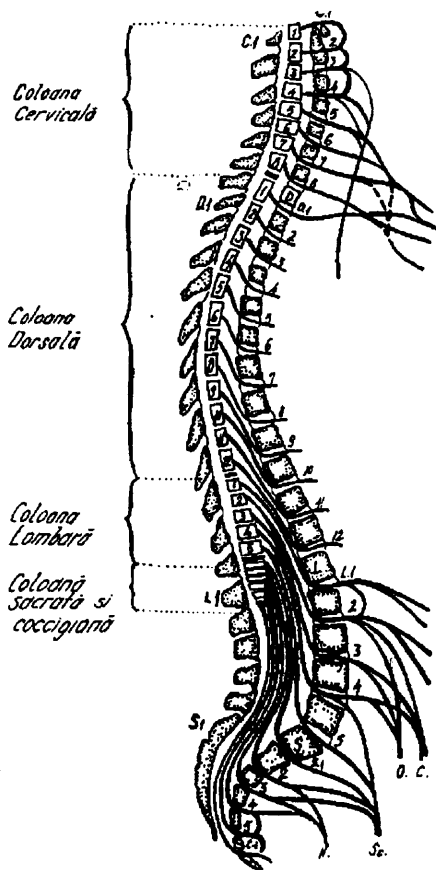


Fig. 13. Relația dintre mielomere, neuromere și vertebre.



tegument (sensibilitatea superficială sau exteroceptivă tactilă, termică și dureroasă), de la nivelul oaselor, tendoanelor și mușchilor (sensibilitatea profundă proprioceptivă) și de la nivelul viscerelor prin fibrele simpatice (sensibilitatea profundă interoceptivă).

Fibrele rădăcinii dorsale pătrund în cordonul posterior, unde se împart în trei categorii: 1) ramuri descendente, care coboară prin cornul dorsal în segmentele inferioare (fibre intersegmentare); 2) ramuri colaterale, care ajung în cornul anterior unde fac sinapsă cu neuronii radiculari (suportul anatomic al arcului reflex monosimpatic); 3) ramurile ascendente, care sunt cele mai importante și mai numeroase, deoarece formează tracturile ascendente din măduvă cu sau fără sinapsă în substanța cenușie. Ramurile ascendente sunt la rândul lor de trei feluri:

a) Fibre scurte de 1-2cm, și fibrele lungi care, după o primă sinapsă în capul cornului dorsal, se încrucișază pre și retroependimar.

Fibrele încrucișate retroependimar formează tractul spinotalamic lateral. Ele duc la talamus impresiile termice și dureroase.

Fibrele încrucișate preependimar formează spinotalamic ventral, care după mai multe sinapse cu substanța reticulată din trunchiul cerebral se termină în talamus. El transportă excitațiile tactile difuze.

b) Fibrele mijlocii merg ascendent în 2-3 segmente medulare. Unele se termină în coloana veziculară a lui Clarke, ai căror axoni formează tractul spinocerebelos dorsal ce ajunge neîncrucișat până la cerebel. Alte fibre se termină la nivelul celulelor din baza cornului dorsal, ai căror axoni încrucișăți preependimar formează tractul spinocerebelos ventral, care se termină ca și primul în scoarța paleocerebelului. Ele duc la acest nivel mesajele proprioceptive de la os, mușchi, tendon și articulații și au rolul de a menține tonusul, coordonarea și echilibrul.

c) Fibrele lungi formează tracturile lui Goll și Burdach, care ajung în bulb unde se termină protoneuronul senzitiv. Aceste fibre conduc sensibilitatea interoceptivă profundă, epicritică (noțiunea de poziție, de atitudine și loc).

Din datele de mai sus reiese că fiecare fel de sensibilitate are căi proprii. Avem astfel:

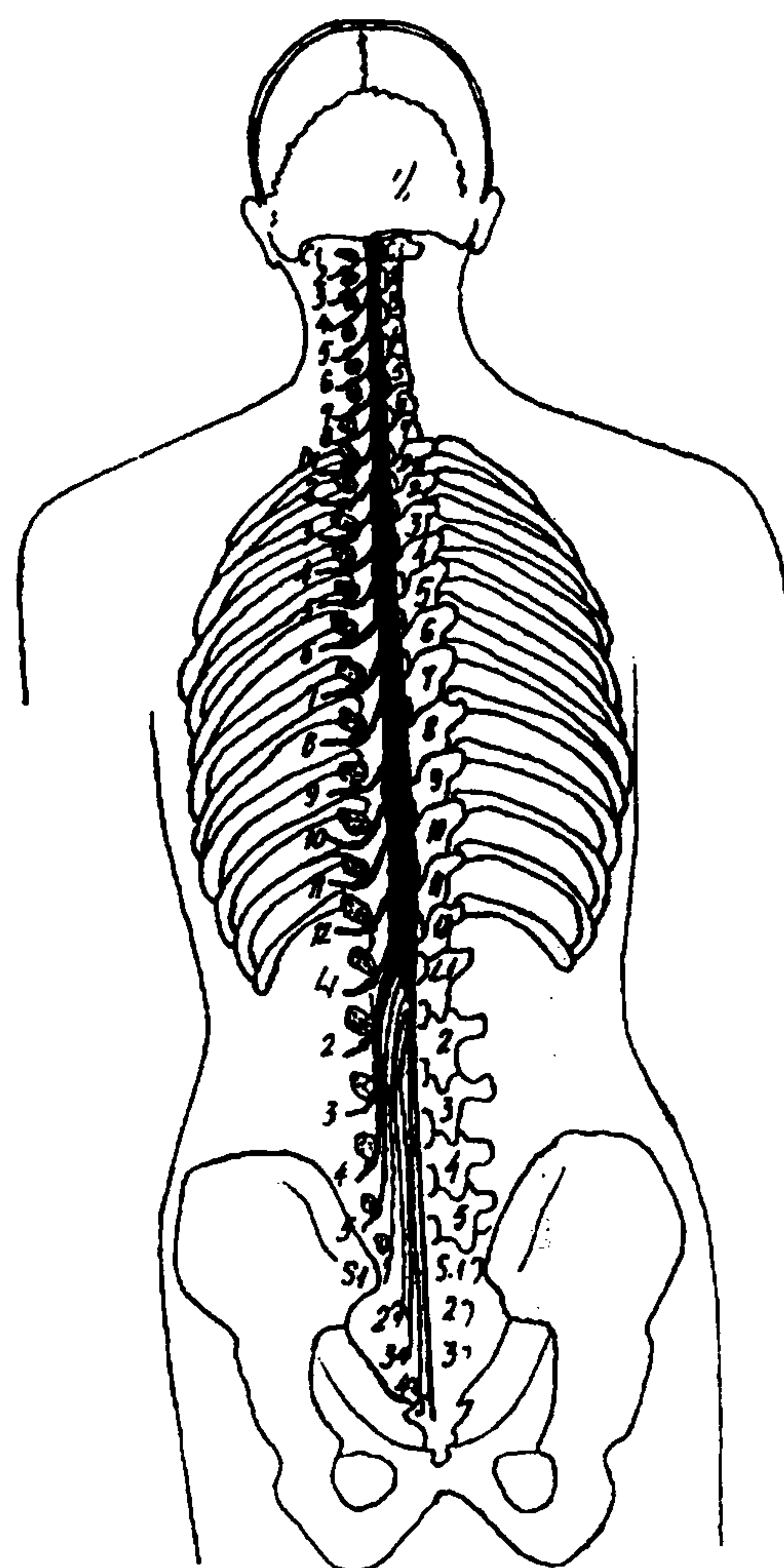
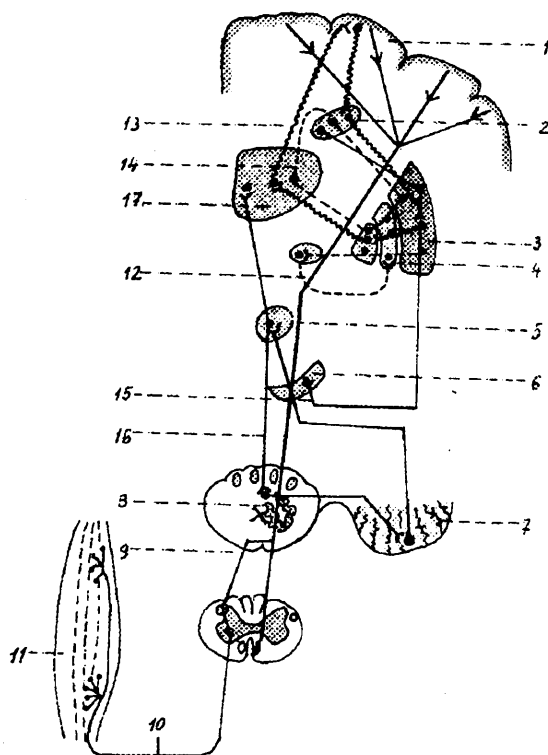


Fig. 14. Topografia vertebro-radiculară.



**Fig. 15.** Conexiunile senzoriale și rețelele sale importante

- a) Măduva Spinării;  
b) Bulbul rahidian;  
c) Trunchiul cerebral;

1. Nucleul talamic ventrobazal; 2. Nucleul talamic medial; 3. Nucleul principal senzorial al trigemenului; 4. Nervul trigemen (senzația feței și a capului); 5. Nucleul trigeminal spinal; 6. Formațiunea reticulată; 7. Nucleii coloanei posterioare; 8. Coloana anterolaterală; 9. Coloana posterioară; 10. Fibrele somatice senzoriale aferente.

a) Calea sensibilității termice și dureroase (spino-talamo-corticală), care conduce impulsurile determinate de acțiunea asupra receptorilor corespunzători a stimulilor termici și algici, participând astfel la realizarea senzațiilor de cald-rece și a celor de durere (fig. 15);

b) Calea sensibilității tactile protopatiche sau nediscriminative (tractul spinotalamic anterior), prin care se transmit impulsurile determinate de stimularea mecanică (atingere sau presiune), mediind formarea senzației de contact cu obiectele;

c) Calea sensibilității tactile epicritice și proprioceptive conștiente (tractul lui Goll și Burdach), care permite formarea senzațiilor tactile discriminative și a celor proprioceptive (conștientizarea poziției spațiale a segmentelor corpului);

d) Calea sensibilității proprioceptive inconștiente (tracturile spinocerebelos posterior - Flechsig și spinocerebelos anterior -Gowers), prin care se transmit la cerebel și scoarța cerebrală (aria motorie, probabil și cea premotorie), impulsurile ce iau naștere la nivelul articulațiilor în timpul stării de repaus, contribuind la integrarea și menținerea la nivel funcțional adecvat a imaginii schemei corporale;



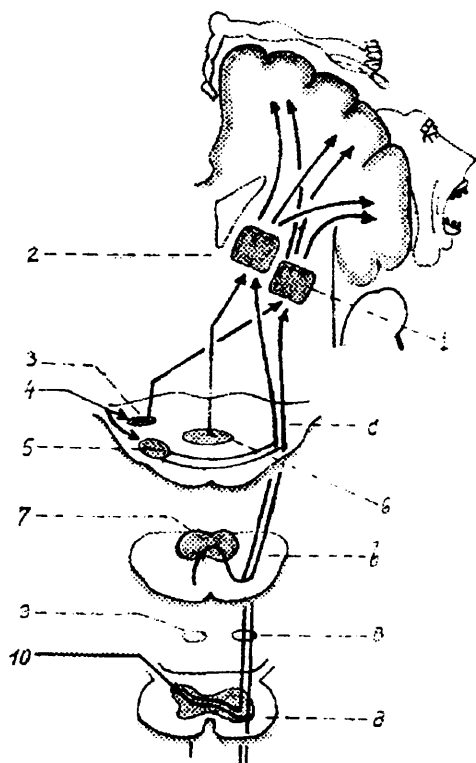
e) Căile sensibilității vestibulare și reglării echilibrului (tractul spinocerebelos, tractul spinomezencefalic, tractul spinoreticulat), care transmit impulsurile de la receptori situați la nivelul creștelor acustice.

## Căile motorii

La nivelul măduvei se situează centrii de comandă, care fie că trimit direct impulsuri organelor de execuție, realizând reflexe necondiționate- somatomotorii și visceromotorii, fie că primesc comenzile de la centri encefalici superiori și le retransmit aparatelor de execuție, participând la realizarea reflexelor condiționate și a actelor motorii voluntare (intenționate). Această funcție de conducere este asigurată de fasciculele fibrelor descendente: **a.** calea piramidală directă sau corticospinală directă, legată de realizarea motilității voluntare își are originea în aria motorie a scoarței (zona prerolandică); **b.** calea piramidală sau corticospinală încrucișată este identică după origine și funcție cu prima, cu deosebirea că fibrele care o compun se încrucișează la nivelul bulbului; **c.** calea motorie lungă extrapiramidală (cortico-ponto-cerebelo-dento-rubro- spinală), cu originea în ariile premotorii și motorii ale scoarței este calea prin care se finalizează mișcările involuntare; **d.** calea cortico- strio-nigrică pornește din aceleași arii și prin ea se realizează tot mișcări involuntare; **e.** calea tecto-spinală, cu originea în tuberculii cvadrigemeni, prin care se transmit comenzi la mușchii gâtului, realizând mișcările reflex necondiționate de întoarcere a gâtului la acțiunea stimulilor acustici, luminoși etc, este aceea care intră în structura reacției primare de orientare; **f.** calea rubrospinală își are originea în neuronii nucleului roșu, merge la neuronii somatomotori din măduvă de partea opusă și transmite impulsuri de realizare a reflexelor motorii ortostatice și statochinetice; **g.** calea vestibulospinală, formată din axoni ai neuronilor vestibulari din bulb (nucleul Deiters), transmite impulsuri implicate în realizarea reflexelor de echilibru; **h.** calea olivo-spinală, formată din axonii neuronilor din olivele bulbare, transmite impulsuri de comandă la neuronii somato-radiculari; **i.** calea reticulo-spinală, cu originea în nucleii substanței reticulate din trunchiul cerebral, transmite impulsuri de reglare a amplitudinii reflexelor motorii medulare.

În substanța albă în apropierea substanței cenușii, între coloanele posterioare și cele intermedio-laterale, se găsesc insule de substanță cenușie (celule nervoase) dispuse în rețea. Acestea alcătuiesc porțiunea spinală a formațiunii reticulate (substanța reticulată a măduvei), cu funcție activatoare și comutativă în raport cu centrii medulari.

Din cele de mai sus rezultă că deși sub raport anatomic măduva spinării este un segment pregnant delimitat în cadrul SNC, din punct de vedere funcțional se află într-o strânsă și multilaterală conexiune cu celelalte formațiuni - de la bulb până la scoarța cerebrală (Fig. 16).



**Fig. 16.** Schema căilor motorii

1. Cortexul motor; 2. Nucleul caudat; 3. Putamen; 4. Pallidum; 5. Nucleul roșu; 6. Substanța neagră; 7. Cerebelul; 8. Oliva; 9. Piramidele bulbare; 10. Nerv periferic somatic; 11. Mușchi; 12. Tractul piramidal; 13. Bucla feedback cortex-ganglionii bazali; 14. Tractul palido-talamostriat; 15. Tractul nigrostriat; 16. Tractul olivorubral; 17. Talamusul;

## Fiziologia măduvei

În principiu, măduva îndeplinește trei funcții mari: 1. funcția de integrare reflexă; 2. funcția de coordonare reflexă și 3. funcția de conducere.

1. Funcția de integrare reflexă constă în faptul că la nivelul măduvei se închid circuite complexe ale unor răspunsuri la acțiunea unor stimuli. Aceste circuite cuprind patru verigi de bază: **a.** veriga receptoare, reprezentată de exteroceptorii cutanați (tactili, termici, de durere), proprioceptorii trunchiului și membrilor și interoceptorii organelor viscerale;

**b.** veriga senzitivă, de prelucrare a informației recepționate, reprezentată de neuronii din coarnele posterioare și laterale (zonele somato-senzitive și viscero-senzitive ale măduvei);

**c.** veriga de comandă, reprezentată de neuronii motori somatici și vegetativi din coarnele anterioare și porțiunea anterioară a coarnelor laterale; **d.** veriga de execuție reprezentată de mușchii scheletici ai trunchiului și membrilor și de mușchii viscerelor. Cornul lateral sau intermediar al măduvei conține celule cu funcție



vegetativă, care inervează musculatura netedă, glandele, vasele etc. Axonii neuronilor vegetativi din cornul lateral se duc prin ramurile comunicante albe spre ganglionii simpatici paravertebrali (fibre preganglionare).

Activitatea lor este involuntară, ei primesc excitațiile atât de la centrii superiori, cât și de la periferie. Excitațiile ajung la măduvă în centrii vegetativi cu răspândire imprecisă, cum ar fi: centrii pilomotori, vasomotori, etc., care par să existe în toată lungimea măduvei precum și la alții bine localizați, cum ar fi centrul ciliospinal, anospinal, vezicospinal, genitospinal, etc.

În ciuda faptului că în calitate sa de centru reflex specific măduva spinării posedă o anumită autonomie, activitatea ei este subordonată influenței etajelor superioare ale SNC, inclusiv scoarței cerebrale.

Astăzi, este unanim admisă ideea că fiecare reflex medular are, cel puțin la om, o dublă integrare; una primară la nivelul centrilor corespunzători din măduvă și una secundară la nivelul centrilor superiori, derivată din principiul subordonării ierarhice succesive.

2. Funcția de coordonare constă în participarea măduvei ca verigă componentă necesară în reglarea unor acte reflexe: stabilirea ordinii de desfășurare, dozarea intensității răspunsurilor, modularea ritmului și tempoului. Componentele în care este implicată funcția de coordonare a măduvei sunt: mersul, înotul, gimnastica, etc.

3. Funcția de conducere a impulsurilor este esențială în tabloul de ansamblu al activității reflexe a SNC, iar comparativ cu scoarța cerebrală, măduva spinării este considerată un segment eminamente de legătură, de transmisie.

Tracturile nervoase ale măduvei spinării oferă două sisteme de comunicație între creier și porțiunile din afara sistemului nervos.

Tracturile care transmit impulsurile și informațiile senzoriale de la diferite părți ale corpului către creier poartă numele de tracturi ascendente, iar cele care conduc impulsurile motorii de la creier către glande și mușchi se numesc tracturi descendente.

Fibrele nervoase ale acestor tracturi sunt axoni. De obicei toți axonii dintr-un anumit tract își au originea la nivelul corpurilor celulare localizate în aceeași parte a sistemului nervos și sfârșesc într-o altă parte. Numele de identificare a tracturilor nervoase reflectă adesea originea și terminația lor.

De exemplu, tractul spino-talamic începe în măduva spinării și duce impulsurile senzoriale asociate cu senzația de durere și atingere la talamus. Tractul cortico-spinal își are originea în cortexul cerebral și transmite impulsurile motorii în jos către măduva spinării și nervii spinali. Aceste impulsuri controlează mișcările musculare.

Tractul cortico-spinal este numit și piramidal, nume dat de forma piramidelor bulbare prin care trece. Alte tracturi descendente sunt numite extrapiramidale. Funcția acestora se reflectă în controlul activităților motorii asociate cu menținerea echilibrului și posturii.

Prin urmare, tracturile descendente asigură finalizarea în acte comportamentale motorii sau viscerale ale comenzilor emise de centrul supraordonați.

Din datele de mai sus se poate observa că maduva spinării reprezintă un segment important al SNC, cu rol fundamental în integrarea sistemică a comportamentului și în reglarea acestuia.

### **Sindroame clinice produse de leziunile rădăcinilor nervoase și ale măduvei spinării**

**Lezarea rădăcinilor nervoase.** Inervația segmentară a membrilor, în special a celui superior, nu este fixă, fapt relevat de proiecția variabilă a durerii și a tulburărilor de sensibilitate din dermatoame. Fiecărei perechi radiculare îi corespunde un segment medular (mielomer), care se numerează ca și vertebrele respective. În schimb, segmentele medulare și reticulare nu mai corespund vertebrei cu același număr de ordine.

O secțiune esențială a psihoneurologiei o constituie analiza în plan comportamental a tulburărilor patologice, provocate de leziuni ale SNC.

Lezarea unei rădăcini dorsale (rizotomie dorsală) duce la abolirea impulsurilor senzitive care vin către măduvă și la întreruperea buclei aferente a unor refleze segmentare.

Pentru a obține o anestezie într-un anumit dermatomer, este necesară distrugerea a trei rădăcini dorsale consecutive. Și tonusul muscular este dependent de integritatea reflexului segmentar întrucât două sau mai multe segmente inervează un singur mușchi. Clasic, se afirmă că distrugerea a două rădăcini dorsale cervicale inferioare duce la pierderea totală a sensibilității proprioceptive de la nivelul mușchiului respectiv și la areflexie și atonie (abolirea tonusului muscular). Totuși, mușchiul se mai contractă prin fibrele rădăcinii ventrale rămase intacte.

Radicotomiile cervicale posterioare și inferioare efectuate de noi în scopul înlăturării durerii intratabile medicamentos contrazic această afirmație, deoarece după o astfel de intervenție chirurgicală mișcarea membrului superior paralizată de durere revine aproape la normal.

Lezarea unei rădăcini ventrale produce deficite în răspunsul motor segmentar prin întreruperea axonilor eferenți somatici.

În cazul compresiunii rădăcinii motorii, reflexele cutanate și miotatice diminuează sau dispar, apar tulburări motorii sub formă de crampe localizate, iar mai târziu se produc paralizii parțiale sau totale ale mușchilor inervați de rădăcina motorie respectivă.

Mușchii afectați devin hipotoni, se atrofiază și uneori prezintă contracții fibrilare.

Când sunt lezate rădăcinile toracale ventrale și lombare superioare apar tulburări motorii și reflexe viscerale, prin interesarea neuronilor aferenți viscerali.



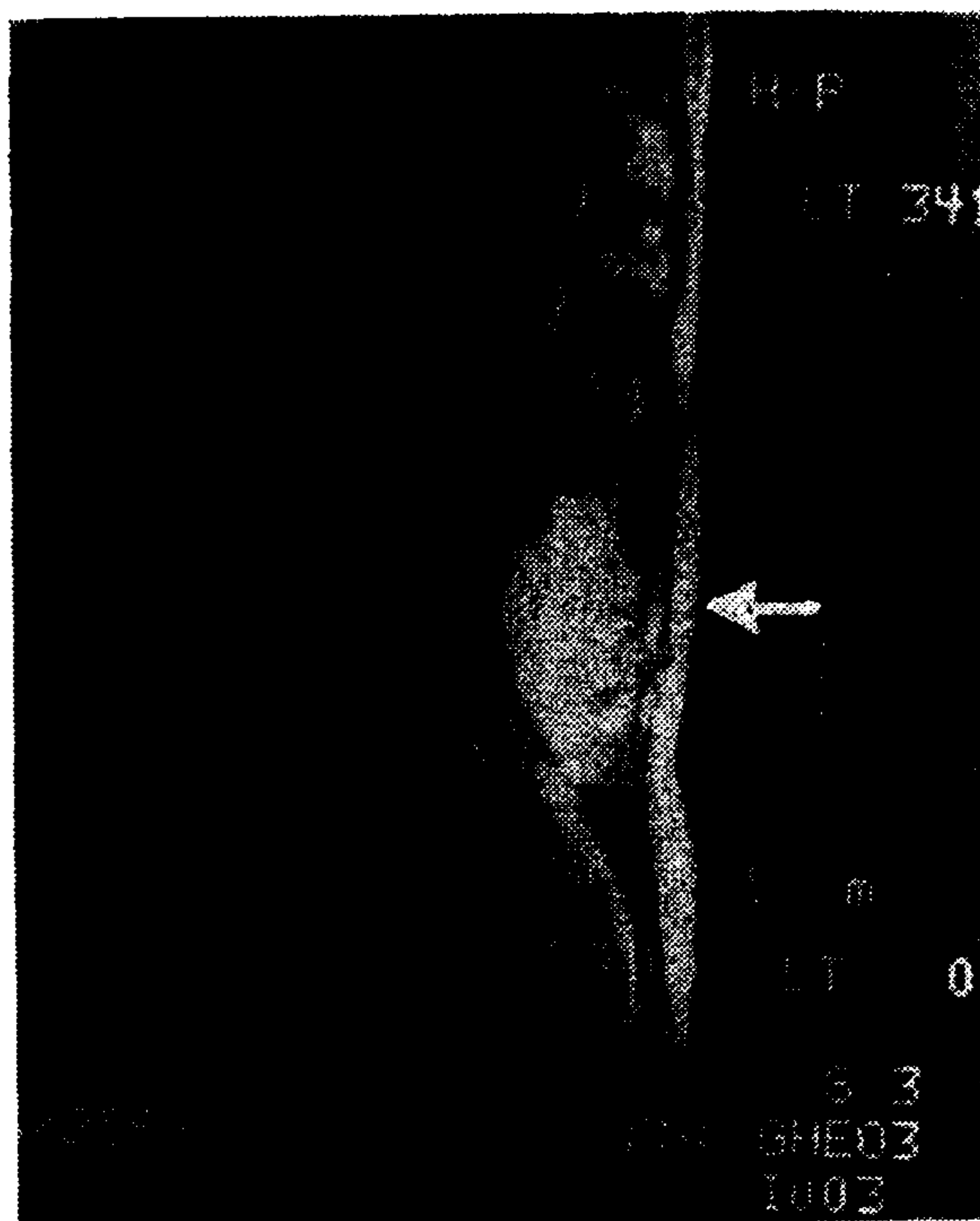
Distrugerea rădăcinii ventrale C<sub>8</sub>-T<sub>1</sub> produce paralizie flască și atonie a mușchilor mâinii.

Distrugerea celulelor cornului anterior (poliomielită) sau a axonilor lor periferici duce la apariția unei leziuni de neuron motor periferic caracterizată prin lipsa influenței tonice asupra mușchilor corespunzători.

Lezarea unui nerv mixt, distal de joncțiunea rădăcinilor ventrale și dorsale, determină deficite mixte, senzitiv și motor, însoțite și de modificări trofice (piele subțire, uscată, cianotică). Aceste tulburări trofice se datorează pierderii vasomotricității periferice și rolului trofic al sistemului nervos, după care urmează faza de compresiune medulară propriu-zisă, care poate fi parțială sau totală.

Comprimarea cozii de cal (fig. 17) se manifestă prin tulburări de sensibilitate în șa, paralizie flască, tulburări sfincteriene și genitale, amiotrofii, dureri intense și precoce în perineu și în membrele inferioare, abolirea reflexului anal (S<sub>5</sub>) și abolirea sau diminuarea reflexelor cutanate.

**Fig. 17.** RMN relevă prezența unei tumori intrarahidiene lombosacrate care comprima rădăcinile cozii de cal. Operator s-a dovedit a fi un colesteatom.



Tulburările motorii de la nivelul membrelor inferioare se datorează lezării neuronului periferic. Tulburările de sensibilitate au topografie radiculară, interesează toate modurile și se manifestă sub formă de anestezie. Tulburările sfincteriene și genitale sunt identice cu cele din leziunile medulare. Tulburările vasomotorii sunt prezente, iar distrofiile cutanate apar precoce (amiotrofie, mal performant plantar, escare tardive).

Lezarea parțială a rădăcinilor cozii de cal determină tulburări motorii și de sensibilitate de tip pluriradicular.

Lezarea rădăcinilor  $L_1-L_4$  (tipul lombar superior) se caracterizează prin paralizia mușchilor inervați de nervii crural și obturator (cvadriiceps, adductori etc). Stațiunea și mersul devin imposibile, membrele inferioare sunt flasce, flexiunea gambei pe coapsă este posibilă, dar picioarele rămân balante. Anestezia este limitată la fața antero-externă a coapsei, iar durerea iradiază pe traiectul nervilor crural, femuro-cutanat și obturator.

Lezarea rădăcinilor  $L_5-L_2$  (tipul lombo-sacrat mijlociu) (fig. 18) duce la abolirea reflexului achilian, la anestezie în teritoriul respectivelor rădăcini și la tulburări motorii ca în tipul lombar superior. Tulburările sfincteriene și genitale lipsesc.

Lezarea rădăcinilor  $S_2-S_5$  (tipul sacrat inferior) duce la apariția tulburărilor sfincteriene și genitale, la abolirea reflexului anal și bulbo-cavernos, la anestezie în șa și la apariția durerilor în sacru, perineu, penis și regiunea hipogastrică.



Fig. 18. RMN pune în evidență existența unor hernii de disc  $L_3-L_4$  și în special  $L_5$  care comprima rădăcinile corespunzătoare.

În faza radiculară există o compresiune a rădăcinilor senzitive și motorii fără întreruperea continuității lor. Simptomul cardinal al fazei radiculare este durerea de tip radicular, care poate dura luni sau ani.

Mulți dintre acești bolnavi sunt greșit tratați pentru o afecțiune toracică sau abdominală.

Compresiunea radiculară realizează două tipuri principale de durere: a) durerea de tip nevralgic și b) durerea de tip mialgic.

a) Durerea de tip nevralgic este vie, acută și pătrunzătoare, fiind comparată de bolnavi cu o descărcare electrică. Ea se asociază cu parestezii care iradiază pe zona de distribuție a rădăcinii. Durerea are intensitate maximă și este bine localizată la paraférie.



b) Durerea de tip mialgic se caracterizează printr-o senzație profundă, neplăcută, perforantă și este asociată cu redoare musculară. Ea este localizată în zona proximală a unui membru, de unde iriază distal, în funcție de sediul leziunii. Punctele mialgice, dureroase sunt localizate la nivelul unde ramurile nervoase periferice vin în contact cu fascia sau o perforează.

Aceste tipuri de durere pot exista separat, dar cel mai frecvent sunt asociate. Apariția paresteziilor arată o compresiune serioasă și un pericol iminent de instalare a parezei, acestea fiind mai grave decât durerea. Ele constituie o indicație urgentă pentru intervenția chirurgicală. Cei mai mulți bolnavi cu compresiune radiculară prezintă frecvent paretezii sau hipoestezie, ceea ce denotă că rădăcina este interesată numai parțial. Durerea radiculară dispare spontan când factorul compresiv intrerupe anatomic rădăcina posterioară.

### **Compresiunea medulară și localizarea acesteia în plan vertical și lateral.**

Pentru localizarea maladiei la nivelul măduvei spinării trebuie să cunoaștem datele anatomice și fiziologice ale acestei structuri. De exemplu, specificarea nivelului transvers al tulburării de sensibilitate sau a celui de afectare motorie ajută la fixarea nivelului leziunii. În plus, semnele cauzate de lezarea tractului corticospinal (medial) sau a tractului spinotalamic (lateral) ne pot înlesni localizarea leziunii în segmentul medial sau lateral al măduvei spinării. Numai patru tracturi medulare prezintă importanța clinică.

- Tractul cu importanță clinică majoră este cel corticospinal din coloana laterală a măduvei spinării. Celelalte căi descendente (tractul rubrospinal etc), deși controlează postura și mișcarea, au mai puțină importanță semiologică.

- Sistemul coloanelor dorsale transmite centrilor superiori semnalele de atingere, vibrație și poziție articulară. După ce fac sinapsă cu nucleii coloanelor dorsale, axonii acestor căi se încrucișează în bulb.

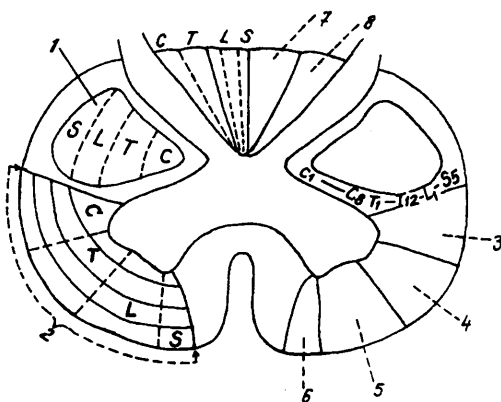
- Tractul spinotalamic lateral transportă semnalele de durere, temperatură și atingere din partea contralaterală a corpului.

- Tractul spinocerebelos furnizează informații cu privire la poziția corpului în spațiu și la poziția relativă a segmentelor unele față de altele. Acest tract este afectat de unele ataxii ereditare fără a reprezenta o sursă simptomatică în cazul altor maladii medulare.

Fibrele tractului corticospinal, ale coloanelor posterioare și ale tractului spinotalamic prezintă o organizare somatotopică (fig. 19).

Această organizare are importanță clinică în situațiile în care este afectat tractul spinotalamic: 1) în lezarea zonei centrale a măduvei cervicale sau toracale, și 2) în intervențiile chirurgicale care au drept scop înlăturarea durerii.

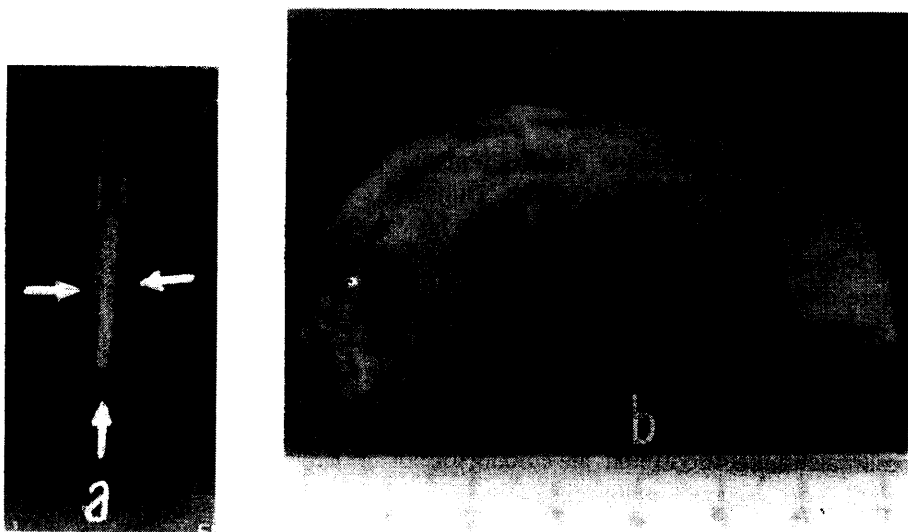
La nivelul măduvei cervicale și toracale, fibrele sacrate sunt împinse lateral de către fibrele care intră în măduvă la nivelurile superioare. Când anumite tumori iau naștere în porțiunile cele mai profunde ale măduvei toracale sau cervicale, apare așa numitul fenomen de cruțare sacrată (fig. 20). Cum aceste leziuni se extind dinăuntru în afară, ele comprimă mai întâi fibrele mediale fără a afecta fibrele la-



**Fig. 19.** Organizarea segmentală a fibrelor fasciculului posterior, a tractului corticospinal lateral și a tractului spinotalamic anterolateral.

1. Tractul corticospinal lateral; 2. Tractul spinotalamic anterolateral; 3. Tractul pentru temperatură; 4. Tractul pentru durere; 5. Tractul pentru atingere; 6. Tractul pentru presiune; 7. Fasciculus Gracilis (Goll); 8. Fasciculus Cuneatus (Burdach).

terale sacrate. În astfel de cazuri, sub nivelul leziunii, sensibilitatea cutanată poate fi abolită păstrându-se totuși intactă sensibilitatea segmentelor sacrate care aparține perineului, scrotului și ariei în șa.



**Fig. 20.** RMN relevă prezența unei tumori intramedulare extinsă de la C<sub>7</sub> la T<sub>10</sub> (a); operator s-a extirpat o tumoră extramedulară de aproximativ 9 cm care histologic s-a dovedit a fi un endimom (b).

Neurochirurgii țin cont de organizarea somatotopică a acestor tractusuri în operația de cordotomie anterolaterală efectuată în scopul înlăturării durerilor intratabile din pelvis și membrele inferioare. În astfel de situații se acționează cu



bisturiul mai întâi fibrele sacrate și apoi cele lombare și toracale. Operația efectuată sub anestezie locală permite monitorizarea continuă a pierderii sensibilității până la obținerea nivelului dorit. Cordotomia poate fi efectuată prin laminectomie sau percutant sub ghidare radiologică. Uneori durerea nu dispare complet sau dispare temporar. Cordotomia cervicală nu este lipsită de risc.

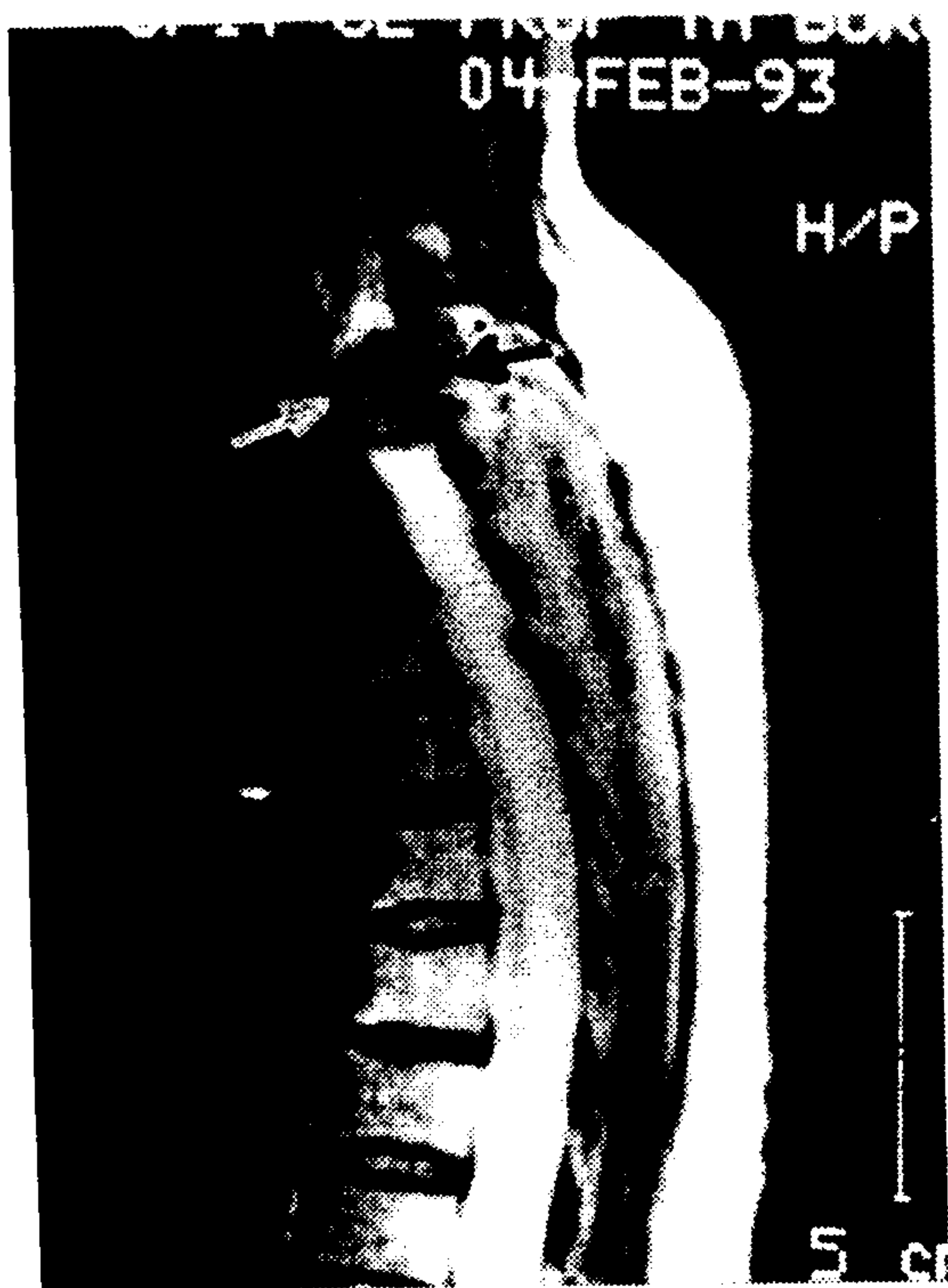
În cazul durerilor de linie mediană determinate de tumori pelvine, cordotomia se face bilateral. În astfel de situații pot fi lezate tractul corticospinal, fibrele autonome descendente, fibrele respiratorii și cele destinate controlului vezical urinar (în peste 50% din cazuri).

Parezele, incoordonarea picioarelor și insuficiența respiratorie sunt riscuri mai puțin comune.

Compresiunea medulară poate fi parțială sau completă, iar cea parțială poate fi la rândul ei uni- sau bilaterală.

Leziunile măduvei spinării dau naștere la simptome motorii și senzitive legate adesea de un anumit nivel segmental, senzitiv sau motor.

Identificarea nivelului tulburării motorii sau senzitive (numit nivel motor sau senzitiv) este crucială pentru recunoașterea leziunilor focale din interiorul măduvei spinării sau a leziunilor compresive externe care întrerup funcția subiacentă. În cazul afectării unei rădăcini motorii sau a unor neuroni motori, caracteristicile clinice (pareza, plegia, fasciculația și pierderea reflexelor tendinoase) pot indica nivelul leziunii spinale. Totuși, clinic este dificil de legat inervația mușchilor trunchiului și toracelui de anumite semne spinale specifice. În astfel de situații, nivelul motor nu poate fi luat în considerație, concludente fiind numai tulburările de sensibilitate. În cazul leziunilor medulare transverse, sensibilitatea cutanată se pierde sub nivelul afecțiunii respective. Dacă leziunea este unilaterală, pierderea sensibilității este contralaterală, (fig.21).



**Fig. 21.** RMN relevă prezența unei compresii medulare C<sub>7</sub>-T<sub>1</sub>: Operator s-a găsit un meningiom anterolateral drept care a dus la apariția tulburărilor de sensibilitate în jumătatea stângă subiacentă leziunii.

Cel mai adesea nivelul senzitiv este mai evident decât cel motor.

Totuși, tulburările de sensibilitate date de leziunile spinale trebuie diferențiate de cele cauzate de leziunile nervilor periferici sau ale rădăcinilor nervoase izolate. În cazul afectărilor multiple ale nervilor periferici (polineuropatii), temperatura și durerea sunt percepute în ciorap sau mână. Acest aspect este atribuit deteriorării transportului axonal sau degenerescentei retrograde.

Axonii cel mai sever afectați sunt cei care se află la distanță mai mare de corpul celulelor neuronale senzitive din ganglionul rădăcinii dorsale. Când este afectat numai un singur nerv periferic distribuția sensibilității pierdute este mai restrânsă și poate fi recunoscută corect conform hărților făcute după studierea efectelor pe termen lung ale leziunilor provocate de rănilor de război.

Pierderea sensibilității segmentare sau radiculare, precum și nivelul senzorial spinal pot fi identificate cu ajutorul dermatoamelor afectate.

Clinic, este important să se cunoască dacă o leziune se dezvoltă în interiorul măduvei spinării (intramedular sau intraaxial) sau dacă măduva spinării este comprimată de către o masă externă extraaxială sau extramedulară. Examenul neurologic poate oferi date de mare ajutor pentru punerea unui astfel de diagnostic. De exemplu, durerea este mai comună leziunilor extraaxiale compresive, deoarece ele afectează dura, rădăcinile nervoase posterioare și vasele sanguine care sunt inervate de neuroni senzitivi ce mediază durerea. Deoarece, în interiorul măduvei spinării (și în creier) nu există receptori pentru durere, leziunile intraaxiale sunt nedureroase. Leziunile intraaxiale se remarcă prin conservarea sensibilității sacrate și prin afectarea sensibilității segmentare ca în siringomielie. În plus, funcția vezicii urinare este afectată mai devreme în cazul proceselor expansive intramedulare.

Cum aceste caracteristici nu sunt absolut sigure, diagnosticul de certitudine depinde de procesele radiologice cu contrast, cel mai important fiind mielografia (fig. 22). În acest procedeu, substanța radioopacă este introdusă în spațiul subarahnoidian în scopul delimitării măduvei spinării, a rădăcinilor nervoase, a marginilor canalului osos și a leziunilor compresive ce depărtează măduva de os (fig. 23). Leziunile vasculare pot fi diagnosticate și cu ajutorul angiografiei spinale, prin caracterizarea selectivă și injectate cu substanță radioopacă. Pentru obținerea unor date mai detaliate cu privire la conținutul canalului

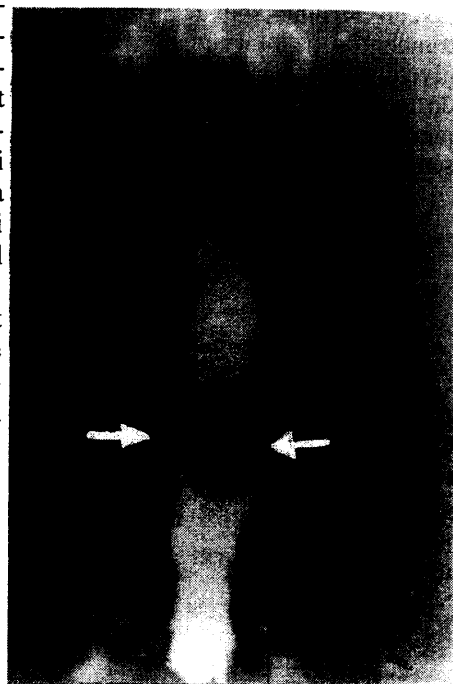
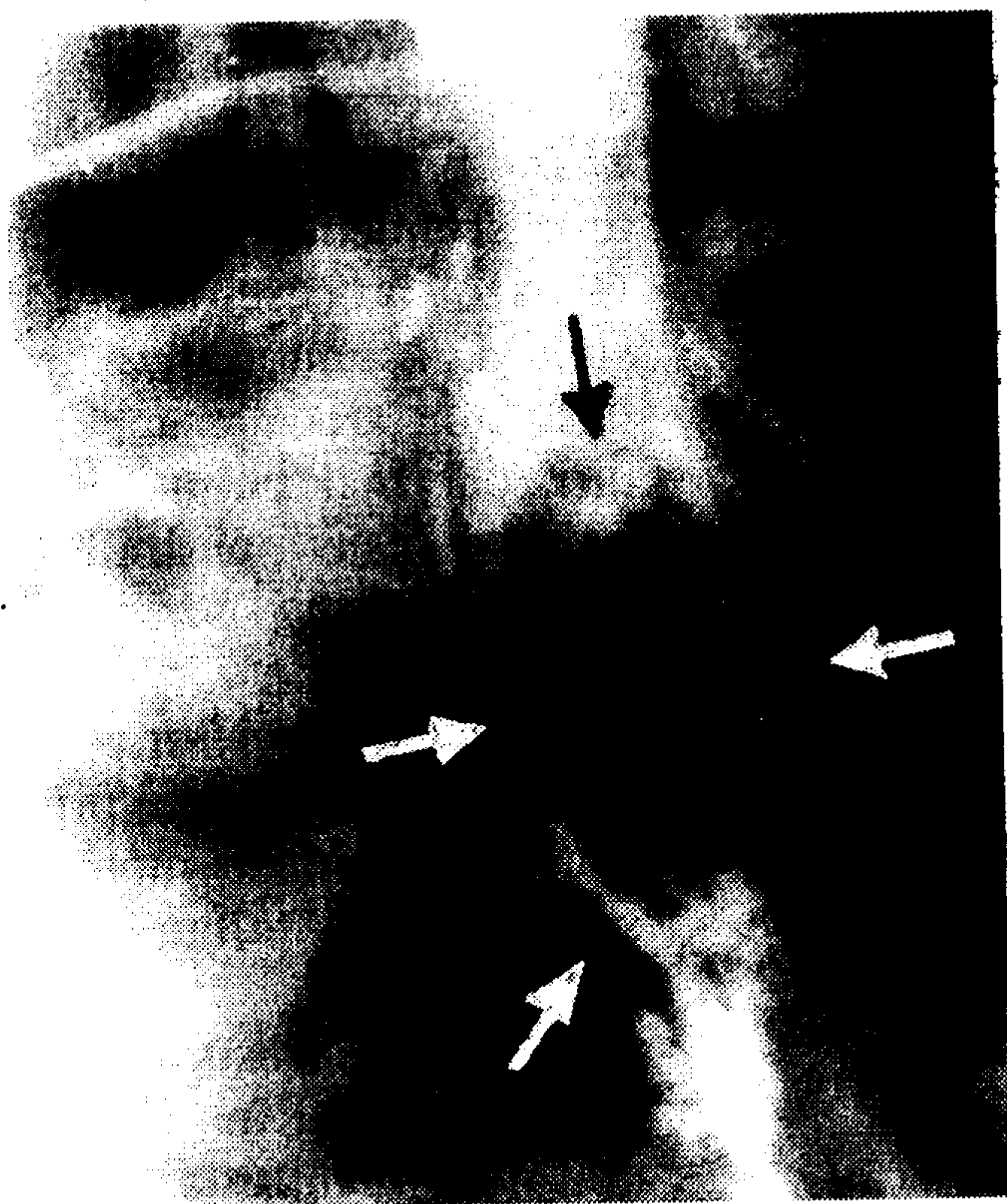


Fig. 22. Migrarea craniocaudală a substanței opace relevă prezența unui stop total în dreptul vertebrei L<sub>1</sub>.





**Fig. 23.** Mielografia cu substanță de contrast delimitează o tumoră intradurală ovalară proiectată în dreptul vertebrei L<sub>4</sub>-L<sub>5</sub> care operator s-a dovedit a fi un colesteatom.

spinal, se utilizează tomografia computerizată cu substanță de contrast (metrizamid) injectată în spațiul subarahnoidian (fig.24).

Rezonanța magnetică nucleară ne dă informații mult mai precise, fără disconfortul injectării spațiului subarahnoidian (fig.25).

Cu ajutorul potențialelor evocate somato-senzoriale și al undelor înregistrate pe scalp sau deasupra coloanei vertebrale ca răspuns la stimulii senzitivi, putem evalua conducția prin sistemul lemniscal al coloanelor dorsomediale. Acest test de măsurare a conducției centrale este util în evaluarea pacienților cu scleroză multiplă, precum și în diagnosticarea altor maladii demielinizate, în care conducția prin tractusurile cu fibre mielinizate este mult întârziată sau blocată.

Din cauza leziunii, unul sau mai multe vârfuri ale potențialelor somato-senzoriale evocate pot fi absente sau întârziate. Potențialele evocate prezintă importanță întrucât ele pot releva leziuni care nu pot fi detectate clinic și pentru că ele ajută la interpretarea semnelor și simptomelor echivoce.

Potențialele somato-senzoriale evocate pot fi anormale și în cazul leziunilor infiltrative și compresive, dar tipul de anormalitate nu variază cu etiologia. În plus, potențialele evocate sunt utilizate și în sala de operație pentru prevenirea lezării măduvei spinării în timpul actului chirurgical.

### Sindroame medulare caracteristice

Traumatismele vertebromedulare apar cel mai frecvent în cadrul accidentelor de circulație. Sindroamele rezultate depind de extinderea leziunii medulare, de compresiunea acesteia de către vertebra deplasată și de hemoragia locală. În aceste condiții, poate apărea transsecțiunea medulară completă sau parțială.

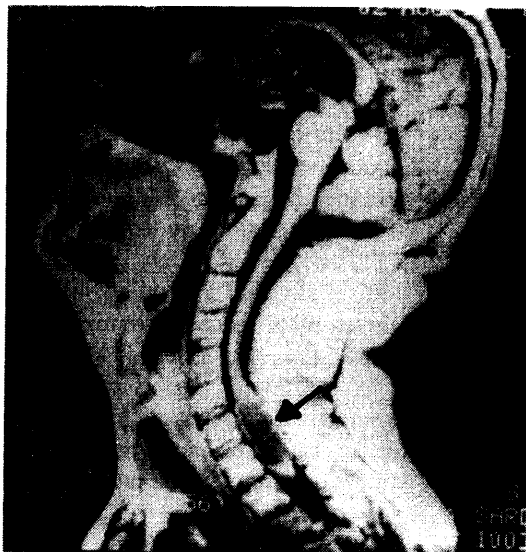
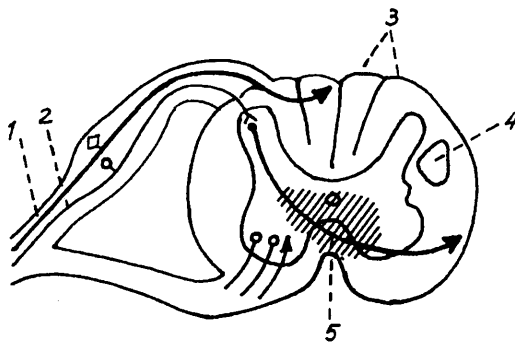


Fig. 24. RMN relevă prezența unei tumori intramedulare cervicale inferioare care a fost extirpată în totalitate. Examenul histopatologic a pus în evidență un astrocitom.

asinerגיע de tip spinal. Compresiunile sau leziunile traumatice medulare parțiale sau totale pot prezenta un tablou clinic în care pe lângă durerile de tip radicular apar și dureri cordonale și meningiene. Durerile cordonale din unul sau ambele membre inferioare sunt fulgurante, adesea intermitente și rar continui. Aceste dureri, care nu respectă topografia radiculară, apar în cazul comprimării cordoanelor posterioare.

Durerile meningiene se proiectează în regiunea rahisului, segmentar sau nu, fiind însoțite de rigiditate musculară moderată în segmentul corespunzător. Uneori se constată redoare de ceafă și semnul Kering.

Aceste dureri apar prin iritația meningelui.



**Transsecțiunea parțială** a măduvei spinării se caracterizează prin păstrarea unor tracături ascendente sau descendente. În cazul proceselor lent progresive și al tumorilor extramedulare, sunt afectate aceleași tracături, dar mai puțin sever. Deși funcția este păstrată, unele semne motorii și senzitive specifice sunt evidente.

**Compresiunea parțială anterioară** se traduce prin amiotrofi și fenomene motorii mari, spastice, fără tulburări de sensibilitate.

**Compresiunea parțială posterioară** (Roussy și Lhermitte) se manifestă prin durere intensă de tip cordonal, pareză discretă sau paraplegie flască (leziune accentuată), abolirea sensibilității profunde și conservarea celei superficiale, ataxie și

Fig. 25. Cavitatea siringomielică (aria hașurată) întrerupe transmiterea informației cu privire la stimulii dureroși, la trunchiul cerebral și la talamus.

1. Axonii aferenți care transmit sensibilitate vibratorie și de poziție; 2. Axonii eferenți care transmit senzația de durere; 3. Coloanele posterioare; 4. Tractul corticospinal; 5. Decusația axonilor din comisura anterioară.



**Hemisecțiunea sau compresiunea medulară parțială** unilaterală se manifestă prin așa-zisul sindrom Brown-Sequard. Acest sindrom urmează de obicei fazei radiculare și numai rareori constituie prima manifestare neurologică a unei compresiuni medulare. Sindromul Brown-Sequard se traduce prin semne lezionale directe radiculare și semne de compresiune medulară situate sub precedentele, evidențiate prin tulburări de sensibilitate și de motricitate.

Astfel, de partea leziunii constatăm: 1) lezarea fasciculului corticospinal lateral cu instalarea paraliziei motorii homolaterale (reflexe miotatice vii, semnul Babinski, semnul Hoffman, clonus, etc.); 2) prezența tulburărilor de sensibilitate profundă homolaterală (sensibilitate vibratorie și mioartrochinetică abolită) date de întreruperea coloanelor posterioare și a tractului dorsospinocervical înainte de decusare; 3) paralizie vasomotorie homolaterală (piele rece, cianotică etc) determinată de întreruperea fibrelor vasomotorii din cordonul lateral. În cazul leziunilor cervicale ( $C_4$ ) pierderea funcțiilor autonome se manifestă prin sindrom Horner (mioză și ptoză palpebrală).

Contralateral procesului patologic apar tulburări de sensibilitate superficială (anestezie termoalgică și discretă hipoestezie tactilă), determinate de întreruperea fasciculului spinotalmic deasupra decusației.

Sindromul Brown-Séquard inversat este produs de o tumoră, care deplasând lateral măduva o comprimă pe peretele opus al canalului vertebral. Acesta, prin rigiditatea lui, joacă rolul unui factor compresiv direct.

Bolnavul prezintă tulburări de sensibilitate superficială de aceeași parte cu tumora, iar de partea opusă - tulburări motorii și de sensibilitate profundă. Sediul durerii radiculare dată de compresiunea directă a tumorii se proiectează de aceeași parte cu tulburările sensibilității superficiale.

Compresiunea medulară parțială bilaterală poate apărea de la început sau după faza radiculară și după sindromul Brown-Séquard. Din cei 208 bolnavi cu neurinoame spinale subdurale studiați de Dănăilă (1972), 48(23,5%) s-au prezentat în faza reticulară, 103(50%) în faza de compresiune medulară parțială și 25(12%) în faza de compresiune medulară completă.

Sindromul Brown-Séquard inversat a fost prezent numai la 4 pacienți la care neurinoamele erau localizate în  $T_8, T_9$ , și  $T_{10}$ .

**Transecțiunea completă.** Măduva spinării poate fi secționată complet în cazul plăgilor de cuțit, de glonț precum și în cazul fracturilor cu dizlocare vertebrală.

Transecțiunea medulară acută poate fi dată de o condiție inflamatoare (mielită transversă) sau de o compresiune tumorală, în special metastatică. Simptomele de transecțiune acută determinate de mielite sau tumori se dezvoltă în zile sau săptămâni.

Secționarea traumatică a măduvei duce la pierderea imediată a sensibilității și motricității voluntare în segmentul situat sub leziune. Controlul vezical și intestinal este de asemenea pierdut. Dacă leziunea se află deasupra lui  $C_3$  este afectată și respirația.

Reflexele tendinoase dispar datorită șocului spinal, care persistă câteva săptămâni. După un timp, activitatea reflexă revine și în segmentul de sub nivelul leziunii. Hiperactivitatea reflexă, clonusul (contractia și relaxarea rapidă și repetată

la întinderea pasivă a mușchilor) și semnul Babinski apar drept consecință a lezării tractului corticospinal. Spasticitatea picioarelor este precedată de hipertonie intermitentă și de spasticitatea flexorilor, care se produce spontan sau este provocată de stimulii cutanași.

Ulterior, apare spasmul alternativ al flexorilor și extensorilor, pentru ca în ultimă instanță, genunchii și coapsele să se fixeze în flexie sau extensie.

Funcția vezicală și intestinală se pot automatiza prin golire, ca răspuns la umplerea moderată.

Automatizarea golirii vezicale poate întârzia datorită distensiei vezicale severe, infecției din stadiul acut și lezării segmentului medular sacrat sau lombar.

Întreruperea fibrelor autonome descendente, în special a celor care ajung la nucleii simpatici din măduva sacrată ( $S_2-S_4$ ), duce la pierderea motilității sacrate. Apare, astfel, un spasm al sfincterului anal extern și retenția de fecale. Defecarea are loc involuntar după un lung interval.

Atunci când segmentul medular sacrat ( $S_2-S_4$ ) este distrus, se produce paralizia sfincterului extern, incontinență fecală, distensie vezicală, impotență și anestezie perianală sau în șa, relizând sindromul de con medular. După transecțiunea medulară tulburările vezicale prezintă trei faze. La debut întâlnim retenția, datorită paraliziei pereților musculari ai vezicii urinare și spasmului sfincterului vezical. După 2-3 săptămâni, se observă o fază de incontinență determinată de hipertonia intermitentă a mușchiului detrusor, care învinge rezistența mușchiului extern. În faza a treia apare micțiunea automată.

Sudorația nu se mai află sub controlul termoreglării, fiind abolită împreună cu reflexele visceromotorii. La bărbați, există și tulburări de dinamică sexuală. Tulburările vasomotorii și viscerale sunt mai puțin pronunțate, iar priapismul apare în cazul în care transecțiunea este incompletă. De asemenea, întâlnim și mari tulburări trofice (escare).

Sindroamele medulare diferă după nivelul compresiunii.

**Compresiunile cervicale superioare** produc în plus față de simptomele date de o compresiune medulară obișnuită durere în regiunea bucală, nevralgie Arnold, redoare de ceafă, deviere a capului simulând un torticolis, monoplegie, hemiplegie, tetraplegie, priapism, sughit, tulburări respiratorii și paralizie uni sau bilaterală a diafragmului (la nivel  $C_3-C_5$  se află centrul pentru inervația diafragmului).

Leziunile de deasupra centrului frenic produc tulburări respiratorii prin întreruperea fibrelor care vin de la centrul respirator bulbar.

Excitația centrului freniculului provoacă tuse și sughit.

**Compresiunile cervicale inferioare** se manifestă prin durere în regiunea cervicală cu iradiere în membrele superioare, atrofii musculare în segmentul respectiv al cornului anterior afectat sau al rădăcinii anterioare corespunzătoare, paraplegie spastică subiacentă și tulburări de sensibilitate și sfincteriene. În forma lor pură există 3 sindroame principale:

1) Sindromul Duchenne-Erb superior ( $C_5-C_6-C_7$ ) se caracterizează prin paralizie și atrofie a mușchilor deltoid, biceps, brahial anterior, supinator, supra și subspinoși, fasciculului claviclar al marelui pectoral, al tricepsului (compresiune  $C_7$ ), precum și prin inversarea reflexului stiloradial, cu degetele 3-5 în flexie și 1-2 în semiextensie. Când leziunea se află la nivel  $C_6$  apare poziția caracteristică



descrișă de Thornburg (brațe în abducție, antebrațul, articulația pumnului și degetelor în flexie și supinație).

2) Sindromul Aran-Duchenne inferior ( $C_8-T_1$ ) se caracterizează prin atrofia eminentei tenare și a celei hipotenare, a mușchilor interosoși, a cubitalului anterior și a flexorilor degetelor.

3) Sindromul Déjérine-Klumpke ( $C_8-T_1-T_2$ ) se caracterizează prin aceea că pe lângă sindromul Aran-Duchenne apar tulburări oculopupilare datorită lezării centrului clinico-spinal situat la  $C_8-T_1$  (micșorarea fantei palpebrale, mioză paralică, exoftalmie), tulburări vasomotorii în hemifața corespunzătoare manifestate prin roșeață, căldură, cianoză cu anhidroză sau hiperhidroză în caz de iritație și bradicardie. Aceste 3 sindroame se însoțesc și de simptome date de comprimarea căilor senzitive și motorii intramedulare subiacente.

**Compresiunea măduvei toracale superioare** ( $T_2-T_7$ ) produce, în faza incipientă, dureri spontane și la percuția spinoaselor de la nivelul respectiv și dureri radiculare, inițial unilaterale și apoi bilaterale, urmate de o bandă de hipoestezie sau anestezie superficială.

În general faza radiculară apare mai precoce din cauza canalului rahidian care este mai îngust. Prin comprimarea centrilor vegetativi medulari de la acest nivel, în care își are originea inervația simpatică a membrilor superioare, apar dureri, parestezii și slăbirea forței musculare în membrele respective deasupra nivelului leziunii.

**Compresiunea măduvei toracale inferioare** ( $T_7-T_{12}$ ) duce la apariția durerilor radiculare care se proiectează lombar și care pot dura luni și chiar ani de zile. Mușchii abdominali pot fi paralizați și atrofiați, dar dispariția reflexelor abdominale se pe măsura afectării centrilor respectivi. Compresiunile de la  $T_8-T_9$  duc la abolirea reflexelor abdominale superioare. Compresiunile de la  $T_{10}-T_{12}$  duc la abolirea reflexelor abdominale mijlocii și inferioare. Tulburările de sensibilitate arată sediul precis al compresiei.

Compresiunile medulare lombare ( $L_1-L_4$ ) duc la apariția durerilor în regiunea abdominală inferioară, lombară, genito-crurală, sciatică și a tulburărilor de sensibilitate în teritoriile respective. În compresiunea  $L_1-L_2$  reflexul rotulian ( $L_3-L_4$ ) este exagerat, parapareza este încă de tip piramidal, iar fenomenele spastice sunt în general prezente, deși nu sunt obligatorii. În compresiunea  $L_3-L_4$  reflexul rotulian este abolit, iar cel achilian exagerat. Când compresiunea se extinde spre coada de cal, tulburările de motilitate iau caracterul clasic al celor de neuron periferic.

**Compresiunile medulare sacrate** se însoțesc și de atingerea cozii de cal, fapt datorită căruia se observă și tulburări radiculare în membrele inferioare sau în perineu, fără a exista simptome piramidale.

**Compresiunea epiconului** ( $L_5-S_1$ ) descrișă de Minor determină tulburări radiculare (sciatică uni sau bilaterală), paralizie flască de tip periferic în teritoriul sciaticului popliteu intern (atrofia mușchilor fesieri și antero-externi ai gambei cu abolirea reflexelor achiliene și a reflexului cutanat plantar), tulburări sfincteriene (micțiuni imperioase, alteori retenție de urină și fecale) și rareori tulburări genitale.

**Compresiunea conului medular** ( $S_3-S_5$ ) determină tulburări de tip radicular în regiunea perianală, fese, organe genitale, anestezie perianogenitală în șa ( $S_3-S_5$ ),

abolirea reflexului anal, paralizia mușchilor sferei **anogenitale**, incontinență pasivă de urină cu micțiuni prin supraumplere, incontinență de fecale sau constipație și supraumplere și tulburări ale funcției genitale.

**Siringomielia** este o maladie cronică definită prin dezvoltarea unor cavități chistice în parenchimul măduvei spinării. Clinic, aceasta se caracterizează prin două disfuncții majore: 1) anestezie termică și dureroasă suspendată, în bandă, cu păstrarea sensibilității tactile și afectarea neuronilor motori, și 2) întreruperea tracturilor ascendente sau decedente.

Deoarece sensibilitatea tactilă este transmisă de coloanele posterioare și de tractul spinotalamic, aceasta, cât și sensibilitatea pozițională și vibratorie, sunt păstrate. Afectarea neuronilor motori în segmentul lezat duce la apariția semnelor de neuron motor periferic (pareză, diminuarea sau dispariția reflexelor) în segmentul corespunzător.

Extinderea laterală a leziunii duce la interesarea tractului cortico-spinal și la apariția semnelor de neuron motor central.

Aceste tulburări neurologice se datorează distrucției elementelor neurale și înlocuirii acestora cu cavități și glioza. Cavitățile siringomielitice afectează mai întâi substanța cenușie centrală și fibrele pentru durere și temperatură, care se încrucișează în comisura anterioară. Chisturile separate sau reunite comunică sau nu cu canalul central. Pereții cavităților sunt formați din țesut degenerat și edemațiat, din collagen, din vase sanguine obliterate, precum și din abundente elemente neurogliale. Pe alocuri ei sunt tapetați cu resturi ependimale.

Maladia afectează cel mai adesea măduva cervicală inferioară și măduva toracală superioară.

Siringomielia poate fi secundară, primară, comunicantă și compresivă. Siringomielia secundară apare după traumatisme, hemoragii și glioame medulare. Siringomielia primară are o etiologie obscură. Siringomielia comunicantă include cavitățile medulare care comunică cu ventriculul patru. Siringomielia compresivă se dezvoltă între 20 și 50 de ani.

Primul simptom, care de cele mai multe ori este radicular, are o durată de evoluție lungă. Faza paraparetică se aseamănă cu cea din tumorile intramedulare.

Tulburările senzitive interesează toate modurile de sensibilitate, disocierea siringomielinică observându-se rar. Forma cervicală inferioară se manifestă printr-o tulburare de sensibilitate suspendată, asociată uneori cu cifoscolioză și atrofii musculare.

Sindromul siringomielic apare și în cazul unei compresiuni tumorale centrale, precum și atunci când leziunea se află în centrul substanței cenușii periependimare.

**Degenerescența combinată subacută** a măduvei spinării afectează atât tracturile corticospinale, cât și coloanele posterioare datorită deficienței de vitamină B<sub>12</sub>. Tulburarea se datorează pierderii factorului intrinsec gastric și instalării anemiei macrocitice (anemia pernicioasă).

Clinic, această degenerescență combinată se manifestă prin tulburări de mers, asociate cu semne de neuron motor central și prin pierderea percepției vibrației



și poziției la nivelul membrelor inferioare. Pierderea senzației de poziție poate fi atât de severă, încât pacienții nu-și mai dau seama de locul unde se află picioarele.

Tulburarea de mers sau ataxia senzorială se datorează mai mult pierderii senzitive decât incoordonării motorii.

Tractul spinotalamic nu este afectat primar, dar pierderea sensibilității cutanate se datorează aproape întotdeauna degenerării concomitente a nervilor periferici. Neuropatia periferică duce la abolirea reflexelor tendinoase modificând sau mascând, astfel, semnele de neuron motor central.

Deoarece această maladie se manifestă printr-o degenerare sistemică și nu printr-o leziune focală, nu vom întâlni la acești bolnavi nici un nivel motor sau senzitiv. Aceste simptome pot fi găsite și în mielopatia vacuolară din cadrul sindromului de imunodeficiență câștigată (SIDA).

Patogenia acestor leziuni se datorează acțiunii directe a virusului HIV, infecției cu alți viruși sau interferenței cu metabolismul vitaminei B<sub>12</sub>.

**Sindromul tabetic dorsal** este o formă de sifilis a sistemului nervos central, care produce degenerarea proceselor centrale din celulele rădăcinilor dorsale. Ca rezultat, apare demielinizarea și degenerarea extensivă a fibrelor fasciculului gracilis. Principalele simptome ale tabesului atribuite degenerării și iritării fibrelor rădăcinii dorsale se manifestă prin afectarea sensibilității vibratorii și de poziție, prin dureri radiculare și prin parestezii. Ataxia și dificultatea de mers sunt în relație cu pierderea poziției și a sensibilității chinestezice.

Compensarea se face prin lărgirea bazei de mers și prin direcționarea mersului cu privirea. Tonusul muscular și reflexele sunt diminuate.

**Ataxia Friedreich** reprezintă o condiție genetică, în care distribuția leziunilor medulare este similară cu cea din degenerescența combinată.

Primele simptome apar în adolescență și se manifestă prin instabilitate și ataxia mersului. La acești bolnavi întâlnim parapareză spastică și pierderea senzației proprioceptive. În această combinație lezională apare semnul lui Babinski, deși reflexele rotulian și achilian sunt abolite. Cauza dispariției acestor reflexe nu este clară, datorită faptului că nu există nici o tulburare de sensibilitate cutanată care să implice o neuropatie periferică. Probabil că influența cerebeloasă asupra reflexelor este importantă. Tardiv apar și semne cerebeloase manifestate prin nistagmus și tremor al brațelor.

**Scleroza laterală amiotrofică** este o boală bineuronală, care afectează atât neuronul central, cât și pe cel periferic. Etiologia este necunoscută, iar evoluția este progresivă. Apare cel mai frecvent în a cincea și a șasea decadă de viață și numai rar în copilărie sau în adolescență. Ea se caracterizează prin degenerarea tractului corticospinal și a celulelor cornului anterior.

Dacă degenerarea celulelor cornului anterior începe în regiunea cervicală, se instalează o atrofie musculară progresivă la extremitățile superioare mai marcată distal, la mușchii mâinii și un deficit motor spastic al mușchilor trunchiului și al extremităților inferioare.

Tulburarea de neuron motor periferic, identică cu cea din sindromul Aran-Duchenne, se manifestă prin amiotrofie distală cu mână simiană, mână de predicator sau mână în gheară, prin atrofie progresivă a antebrăului, brațului și centurii scapulare, prin contracții fibrilare ale mușchilor încă aparent neatrofiați și prin deficit motor proporțional cu amiotrofia.

Fasciculațiile care sunt simțite de pacient și observate de examinator constituie un semn important. Deficitul motor este de obicei simetric și se generalizează în faza finală.

Hiperreactivitatea miotatică persistă până când atrofia devine completă. În fazele tardive ale bolii apar tulburări vezicale și renale prin afectarea fibrelor autonome descendente din segmentele lombar și sacrat ale măduvei, care sunt foarte aproape de tractul reticulo-spinal și cortico-spinal.

### **Aspecte psihosociale și psihoterapeutice ale bolnavilor medulari**

Mersul vertical a constituit un moment hotărâtor al antropogenezei, întrucât a dat mâinilor libertatea de a dobândi o mai mare dexteritate și flexibilitate, conferind în același timp vederii un orizont larg, iar auzului o finețe selectivă (Dănăilă, 1972). Totodată ea a făcut posibilă recepționarea unei cantități mult mai mari de informație favorizând dezvoltarea inteligenței, funcție definitorie a organizării psihicului uman.

Menținerea stațiunii bipede și realizarea locomoției și praxiei manuale presupun, însă obligatoriu, integritatea anatomică și funcțională a măduvei spinării. De aceea, odată cu trecerea de la normal la patologic, starea care în cazul de față echivalează cu instalarea unei dureri radiculare, a unei monoparezze, paraplegii sau tetraparezze, produce o schimbare a echilibrului personalității și a modului general de raportare și integrare a pacientului în mediu. În noua conjunctură patologică, subiectul poate să-și supraestimeze, să-și subestimeze sau să-și evalueze corect posibilitățile fizice și psihice, în funcție de nivelul său cultural, de starea sa afectivă premorbidă, de speranțe, promisiuni, de durată și de gradul îmbolnăvirii. În asemenea situații, devine foarte important modul în care subiectul își utilizează imaginea despre sine, mai ales sub aspectul posibilităților de realizare atunci când se pune problema clasării sau reprofilării, când bolnavul trebuie să-și revizuiască planurile de viitor.

Dacă avem în vedere o persoană, care după o afectare medulară a rămas cu un deficit motor parțial sau total al membrelor superioare sau inferioare, cu tulburări sfincteriene și genitale, iar când pe plan medical are un prognostic nefavorabil, ne putem ușor da seama de ce psihicul său este zdruncinat. Dat fiind locul pe care-l ocupă elementul psihic în evoluția unei maladii radiculomedulare, climatul în care sunt tratați acești bolnavi trebuie să fie deosebit de încurajator și tonic.



Observarea atentă a acestor pacienți relevă o ciocnire afectivă, determinată de discordanța dintre nivelul de aspirație, idealurile lor inițiale premorbide și imposibilitatea de a le realiza în noile condiții.

Aceasta duce la instalarea unei stări nevrotice psihogene, care va face parte integrantă din tabloul maladiei. De aceea, se impune utilizarea unor metode adecvate și raționale de psihoterapie, prin care să se insuflă pacienților noi linii de perspectivă.

Ca urmare a evoluției rapide a tehnicii, mașinismului și aglomerărilor umane, a crescut și numărul cazurilor de traumatisme vertebro-medulare cu compresii radiculo-medulare și al bolnavilor sechelari cu parapareze, paraplegii, tetrapareze etc, bolnavi care ridică probleme mereu noi, atât din punct de vedere terapeutic, cât și din punct de vedere psihosocial.

Inițial, speranțele și dorința de muncă ale acestor bolnavi sunt păstrate, dar pe măsură ce timpul trece, iar maladia persistă sau apare o nouă agresiune a ei (infecție urinară, tulburări trofice, escare etc,) aceste tendințe se estompează, viața lor psihică se îngustează, dorința de a lupta cu greutățile și de a le învinge slăbește treptat, iar echilibrul nervos este serios tulburat.

Tulburarea afectivă de tip depresiv dominantă, ajungând până la starea de psihonevroză, poate lua caracterul unui handicap insurmontabil. În această situație, bolnavul trebuie menajat prin calmarea durerii organice și a suferinței psihice cu ajutorul sedativelor, tranchilizantelor, prin crearea în spital a unui mediu apropiat de cel familial, prin înlesnirea a cât mai multor vizite din partea membrilor de familie și a prietenilor și prin psihoterapie, pentru a se putea atenua sau împiedica apariția tulburărilor psihonevrotice care ar putea să devină o problemă tot atât de importantă sau să o depășească pe cea legată de suferința fizică. Prin urmare, menținerea unui fond psihic tonic, optimist este o cerință tot atât de importantă ca și reeducarea motorie.

Dacă Sageloli (1962) semnală lombalgia ca fiind unul din factorii etiologici ai unor afecțiuni psihice clasice, ca de exemplu psihastenia, melancolia, schizofrenia, isteria etc, atunci cu atât mai mult o afecțiune organică medulară, în care pe lângă durere este prezent și un deficit motor al membrelor inferioare sau superioare, poate constitui punctul de plecare al unui dezechilibru psihic și mai accentuat.

Este într-adevăr dramatic ca la o persoană în puterea vârstei și a forțelor sale fizice și intelectuale să apară într-o bună zi o durere radiculară care să nu-i permită nici să stea culcată și nici să doarmă și la care să se adauge apoi un deficit motor cu tulburări genitale și sfincteriene. Drama psihică se supraadaugă imediat celei organice. Aceste persoane sunt puse în situația de a nu mai putea efectua nici un efort fizic și de a nu mai da nici un randament intelectual, ceea ce determină, în ultimă instanță, schimbarea modului de viață, a profesiei, a stereotipurilor, a ansamblului relațiilor cu cei din jur.

Dezordinea și dezorientarea psihică vor constitui punctul de plecare al primelor simptome nevrotice, față de care medicul și psihologul trebuie să ia imediat atitudine pentru recuperarea la timp a pacienților medulari.

Când lumea pacientului apare cu claritate, atunci terapeutul sau psihoterapeutul poate să înțeleagă și să-și explice faptele comunicate de pacient, fapte despre care bolnavul are o vagă reprezentare și care nu totdeauna se desfășoară în mod conștient. De aceea, psihoterapeutul va avea în vedere o serie de simptome obiective nemijlocit observabile sau perceptibile (reflexe, fizionomia, activitatea motrică, expresia verbală, conduita generală), precum și o serie de trăsături individuale derivate din conținutul relatărilor. Ca simptome subiective vom considera emoțiile, experimentele de viață și evenimentele descrise de pacient, precum și procesele mintale deduse din acțiunile și conduita lui generală.

Unii autori consideră că implicarea și angajarea psihoterapeutului în experiențele pacientului face posibilă o înțelegere directă și mai facilă, dar care nu duce la o cunoaștere explicită și nici la o cercetare științifică fructuoasă.

Din cele arătate se poate constata că psihicul se deteriorează o dată cu fizicul și că o reeducare motorie fără una psihică nu dă decât un rezultat pe jumătate. De cele mai multe ori, studiul psihologic al acestor pacienți și reeducarea lor psihică dobândește o importanță de prim ordin și sunt chiar mai dificil de realizat.

Psihoterapia poate fi colectivă sau de grup și individuală. Cea de grup poate fi:

a) psihoterapie analitică, care ajută pe bolnav să conștientizeze mai clar unele din temerile sale, înlesnindu-i adaptarea la mediul social;

b) psihoterapia psihanalitică, bazată pe studiul motivațiilor inconștiente și care cuprinde „psihoterapia psihanalitică de grup „ și „psihanaliza în grupuri“;

c) psihoterapia prin analiza tranzacțională, bazată pe legăturile și tranzacțiile ce apar în cursul ședinței de psihoterapie, neglijând în același timp aspectul holistic al grupului.

Privitor la metodele de psihoterapie individuală, se poate afirma că varianta psihanalitică preconizată de către Freud, Adler și Jung a fost depășită prin introducerea unor metode noi, ca, de exemplu, psihoterapia de relaxare, psihoterapia de sinteză și de reconstrucție, psihoterapia nondirectivă prin vis dirijat, în stare trează, psihoterapia existențială și ocupațională.

În cazul pacienților medulari, cea mai indicată este psihoterapia de relaxare, deoarece durerea, contractura musculară, starea tensională legată de o frică conștientă derivată din consecințele psihice și sociale ale maladiei duc la o supraîncărcare tonică permanentă. Această metodă se bazează pe trăirile somatopsihice din cursul unor exerciții standard, care sunt orientate spre relaxarea musculară și concentrarea psihică interioară.

Alternarea permanentă între starea de tensiune și de relaxare (de concentrație) se face în timp ce pacientul, în repaus și cu ochii închiși, își reprezintă lucruri cu conținut afectiv pozitiv, ceea ce-i permite o comutare a stării sale psihice. Această autopsihoterapie, antrenament autogen, se poate realiza prin stăpânirea unui bun autocontrol, a cărui reușită se asigură numai prin autoanaliză și autoexperiență. Antrenamentul autogen cuprinde două etape: prima vizează eliberarea de orice emoții și este alcătuită din antrenamentul destinderii musculare,



stăpânirea tonusului muscular și exersarea respirației; a doua are ca țel final o autosugestie orientată. Este necesară minimum o ședință pe zi cu o durată de 10-15 minute. Ea se va face de obicei la sfârșitul zilei pentru biruirea oboselii și înțordării anterioare, dar cel mai bine este înainte și după somn.

Relaxarea o dată realizată poduce o diminuare a reflectivității neuromusculare, o încetinire a funcțiilor vegetative și un efect tranchilizant asupra psihicului. Sedativele cunoscute se dovedesc a fi fără efect în reeducarea acestei hipertonicități neuromusculare și în atenuarea durerii psihogene.

La începutul secolului nostru, Behterev a introdus metoda autohipnozei, Jacobson-relaxarea consecutivă (stăpânirea totală a tonusului muscular), iar psihiatrul austriac Schultz a elaborat antrenamentul autogen, astăzi atât de larg răspândit. Procedul lui Schultz este realizat de la exterior spre interior, de la somatic la psihic și de la real la imaginar și permite pacientului să treacă de la autocunoaștere la autostăpânirea eu-lui, ceea ce favorizează realizarea unei autoreglări în orice împrejurare impusă de ambianță sau boală.

Acest antrenament autogen are ca scop de a ține sub controlul conștiinței și voinței fenomenele prin exerciții regulate, în cursul cărora bolnavul trăiește decontractia sa, respirația sa, bătăile sale cardiace. Bolnavul participă activ la relaxare, printr-un efort de atenție și de concentrare, fără nici o constrângere.

Culcat sau în picioare, calm, cu ochii închiși, pacientul face primul exercițiu, care vizează o decontractie musculară și care constă în a-și reprezenta starea „brațul meu este mai greu”. Dacă această senzație este resimțită, ea se generalizează prin formula „brațele mele sunt grele”, „tot corpul meu este greu” și apoi destins, generalizându-se astfel și senzația de liniștire. Psihoterapeutul sau medicul trebuie să verifice dacă s-a obținut relaxarea musculară, prin ridicarea ușoară a unui membru. Este necesar să se înțeleagă că, la pacienții medulari reeducarea psihică trebuie să ocupe același loc, dacă nu chiar unul mai important, ca și tratamentul medicamentos sau chirurgical.

Dar dacă îngrijirile medicale psihoterapeutice reușesc să asigure la acești bolnavi menținerea unui tonus psihic satisfăcător, rămâne de rezolvat problema reintegrării lor familiale și sociale, care se dovedește deosebit de complicată. Dacă la început bolnavii respectivi (soți, soții, tați, mame, frați, copii etc.) sunt îngrijiți cu un devotament dus la extrem, cu timpul, datorită aspectului cronic al bolii, încetul cu încetul se produce o scădere a afecțiunii și a devotamentului.

De aceea, o soluție mai eficientă ar constitui-o crearea mai multor centre specializate de reeducare psihosomatică, în care să poată fi optim combinat tratamentul medical cu cel psihic și socioprofesional, în vederea capacitării bolnavilor medulari pentru desfășurarea unei activități utile.

După cum ne-a arătat propria noastră experiență în acest domeniu, cel mai greu este de luptat împotriva instalării stărilor de depresiune psihică, de descurajare și resemnare.

Psihoterapia trebuie să capete un caracter sistematic și să se desfășoare după un plan riguros stabilit, care, în opinia noastră, să includă patru etape obligatorii.

*În prima etapă* se va face un examen psihologic aprofundat cu scop informativ, pentru a evalua cât mai exact starea sufletească actuală, tipul de personalitate, forța eu-lui, potențialul de voință și de raționalizare a deficitului provocat de boală. Se va acționa în direcția preîntâmpinării complexului de inferioritate, a atitudinii de rupere și evitare a contactelor sociale.

Acești bolnavi se consideră inițial în afara societății și sunt continuu confrunțați cu o atitudine de stânjeneală și umilire, ceea ce duce la pierderea încrederii în ei. Acomodarea unor asemenea bolnavi la noile condiții de spitalizare de lungă durată poate să fie foarte anevoioasă. În această situație, medicul nu trebuie să fie tovarăș de suferință, ci numai o călăuză și un bun sfătuitor al bolnavului, fără a se ajunge la manifestarea unui autoritarism sau iatrocenism exagerat, cu ignorare și indiferență față de nevoile, dorințele și viața sufletească a bolnavului, atitudine evidentă adesea la reprezentanții specialităților chirurgicale, care fetișizează tehnologia terapeutică.

*În etapa a doua* bolnavul trebuie determinat să participe personal, și din ce în ce mai mult la reeducarea motrică prin întrebuintarea tuturor procedeelor și a tuturor măsurilor sociale și profesionale de reabilitare.

Printre aceste metode sportul joacă un rol esențial ca parte din tratamentul clinic și psihic.

*În etapa a treia* psihoterapia se va îmbina cu ședințe de activitate profesională. Prin introducerea noilor metode bazate pe principiile fiziologice și pe conceptul modern de reabilitare, se urmărește să se asigure nu numai reducerea la minimum posibil a consecințelor negative ale maladiei, ci și reintegrarea socioprofesională a pacienților.

*În etapa a patra* programul de reeducare va cuprinde un număr mai mare de ședințe și de ore (în cadrul unei ședințe) de activitate profesională, iar psihoterapia va fi axată pe formarea încrederii pacientului în forțele proprii, a sentimentului utilității sociale. Durata acestei etape depinde de gravitatea și natura deficitului senzorio-motor și somato-vegetativ, de faptul dacă pacientul urmează să-și continue profesia inițială sau să se recalifice (Dănăilă, 1972).

## II. BULBUL RAHIDIAN (medula oblongata)

Această formațiune anatomică se află situată deasupra și în continuarea măduvei spinării. Superior ajunge până la nivelul punții lui Varolio, având ca limită pe fața ventrală un șanț cu direcție transversală numit șanțul bulbo-pontin.

În porțiunea inferioară a feței ventrale și pe linia mediană a bulbului se găsește o încrucișare de fibre numită decusația piramelor. Limita de separație dintre bulb și măduvă este reprezentată de planul care trece prin partea inferioară a acestei încrucișări și imediat deasupra originii primei perechi de nervi cervicali.

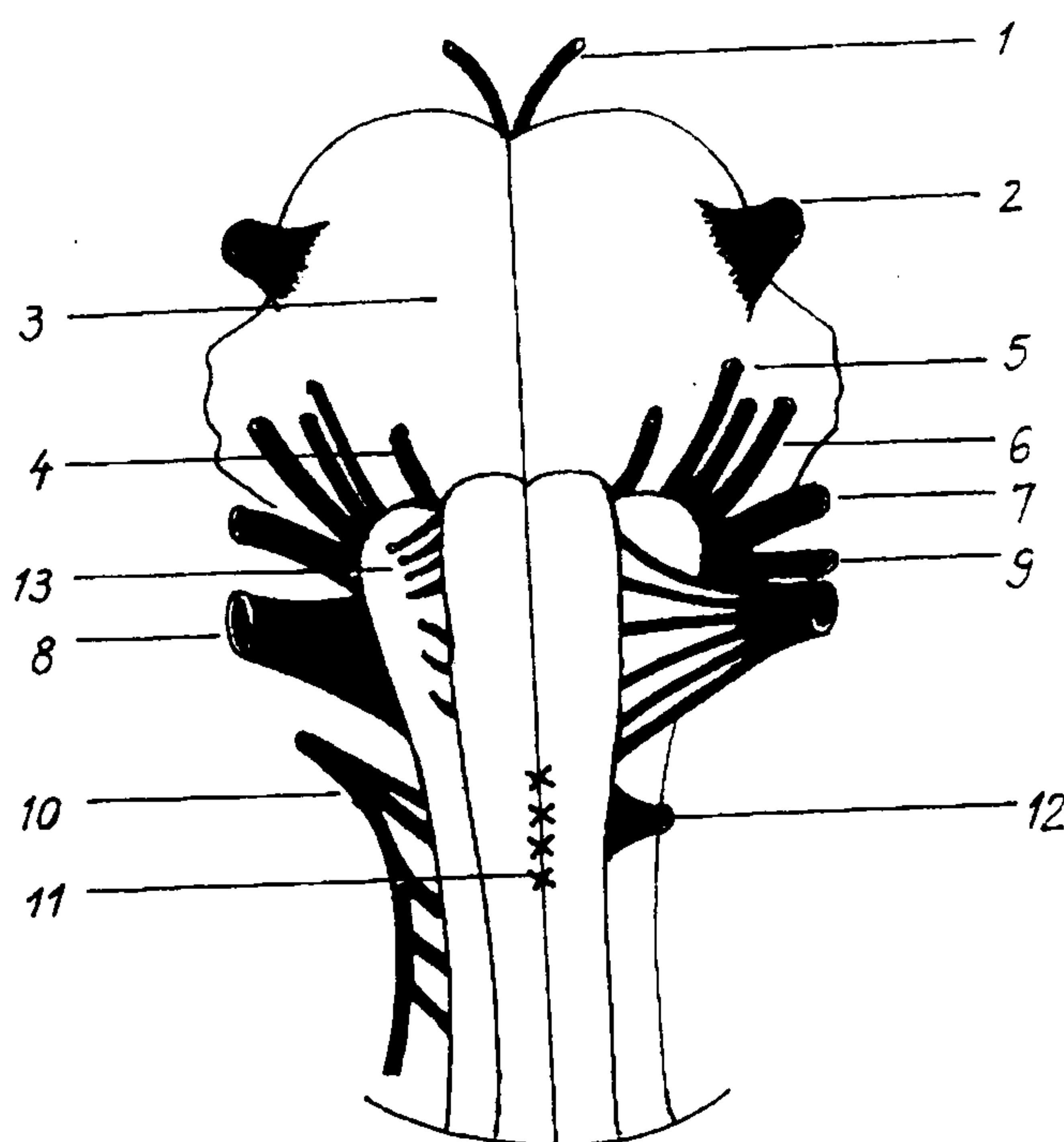
Ca formă bulbul are aspectul unui trunchi de con cu următoarele dimensiuni: 3 cm lungime, 2 cm lățime (la bază) și 1,25 cm în sens anteroposterior. Baza



mică se află în continuarea măduvei, iar baza mare este situată spre punte. Bulbul prezintă două fețe - una anterioară și alta posterioară - și două părți laterale. Pe fața anterioară, de o parte și de alta a șanțului median anterior, se disting două cordoane nervoase - piramidele bulbare anterioare (Fig. 26).

Imediat deasupra lor în șanțul bulbopontin își are originea aparentă nervul abducens (perechea a-VI-a sau OME).

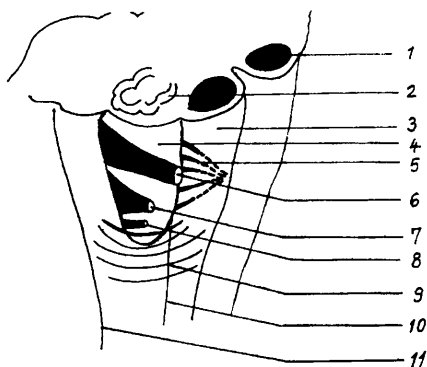
**Fig. 26.** Fața anterioară a bulbului  
1. Nervul oculomotor. 2. Nervul trigemen; 3. Puntea; 4. Nervul abducens; 5. Nervul facial și nervul intermediar (VII); 6. Nervul acusticovestibular (VIII); 7. Nervul glossofaringean (IX); 8. Nervul vag (X); 9. Nervul hipoglos (XII); 10. Nervul spinal accesoriu (XI); 11. Decusația piramidală; 12. Rădăcina ventrală C<sub>1</sub>; 13. Oliva.



Piramidele conțin fibre motorii cortico-spinale, care în cea mai mare parte (aproximativ 80%) trec din partea dreaptă în cea stângă, și invers, formând pe o distanță de 0,8 cm decusația sau încrucișarea piramidelor. Fibrele neîncrucișate trec direct în cordonul medular anterior, unde formează tractul cerebrospinal anterior sau piramidal direct al lui Turck. Pe părțile laterale ale acestor piramide se întind șanțurile colaterale anterioare sau preolivare continuare a șanțurilor colaterale ale măduvei.

În ele își are originea aparentă nervul hipoglos. Fața laterală (Fig. 27) este cuprinsă între șanțul colateral anterior și șanțul colateral posterior al bulbului din care ies rădăcinile nervilor glossofarinagian, vag și spinal. Pe această față, în partea sa superioară, mai aproape de șanțul colateral ventral și de cel bulbopontin se găsește o umflătură ovalară, albicioasă de 1,3 cm și lată de 5mm, care are un nucleu de substanță cenușie și care se numește oliva bulbară.

Deasupra ei se află o mică depresiune din care ies rădăcinile nervului facial și ale intermediarului lui Wrisberg. Între marginea posterioară a olivei și șanțul colateral posterior există o fâșie verticală de substanță albă reprezentată de cordonul lateral al bulbului. Superior acestuia, la nivelul șanțului bulbopontin se află groșița laterală a bulbului în care intră nervul acusticovestibular.

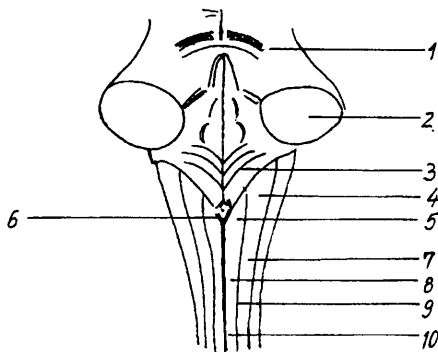


**Fig. 27** - Fața laterală a bulbului.

1. Tractul cortico-spinal; 2. Complexul nuclear olivar inferior; 3. Piramida bulbară; 4. Oliva bulbară; 5. Nervul hipoglos; 6. Nervul glosfaringian; 7. Nervul vag; 8. Nervul spinal; 9. Fibrele arcuate; 10. Șanțul colateral anterior; 11. Șanțul colateral posterior.

Sub extremitatea inferioară a olivei apar fibrele arcuate externe, care sfârșesc în pedunculul cerebelos inferior.

Fața posterioară (dorsală) (fig. 28) cuprinsă între cele două șanțuri colaterale are o structură diferită în porțiunile inferioară și superioară. În porțiunea inferioară cordonul posterior are aceeași dispoziție ca și în măduva spinării. La jumătatea înălțimii bulbului, cele două fascicule (Goll și Burdach) care alcătuiesc cordonul posterior se îndepărtează de linia mediană, îndepărtându-se în sus și lateral formând între ele un unghi. Din acest punct, fasciculul (tractul Burdach) se prelungește cu așa numitul corp restiform sau pedunculul cerebelos inferior, iar fasciculul Goll devine piramida bulbară posterioară.



**Fig. 28.** Fața posterioară a bulbului

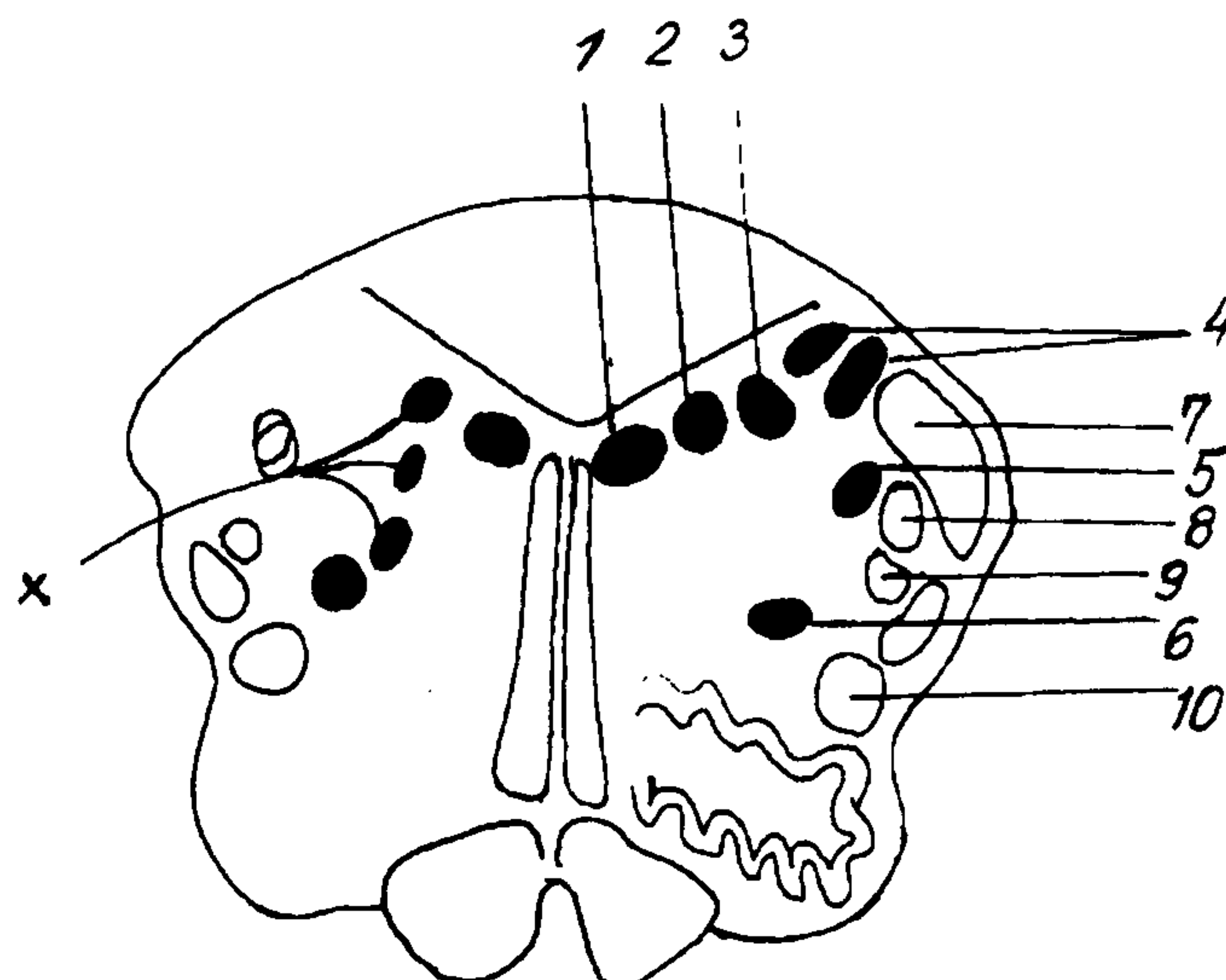
1. Nervul trohlear; 2. Pedunculul cerebelos mijlociu; 3. Stria medularis; 4. Tuberculul lui Burdach; 5. Tuberculul lui Goll; 6. Obexul; 7. Tractul lui Burdach; 8. Tractul lui Goll; 9. Șanțul colateral posterior (paramedian); 10. Șanțul median posterior.

În acest fel, între ele se delimitează o suprafață triunghiulară cu vârful în jos, suprafață care aparține feței dorsale a bulbului și care ia parte la formarea planșeului ventriculului al IV-lea cerebral, care nu este altceva decât o lărgire a canalului ependimar. În partea inferioară a ventriculului patru, se găsește o bandă de substanță cenușie întinsă de-a curmezișul între cele două fascicule ale lui Goll, numită obex. Tot în porțiunea triunghiului bulbar al acestui ventricul se relevă striile acustice, iar în grosimea planșeului se găsesc nucleii de origine ai perechilor de nervi cranieni IX, X, XI și XII (fig. 29).



**Fig. 29.** Secțiune schematică prin porțiunea superioară a bulbului.

1. Nucleul hipoglos (XII) ; 2. Nucleul motor dorsal al lui X; 3. Nucleul solitar (VII, IX, XI); 4. Nucleii vestibulari (VIII); 5. Nucleul senzitiv al trigemenului (V); 6. Nucleul ambiguu (IX, X, XI); 7. Pedunculul cerebelos inferior; 8. Tractul spinal al trigemenului; 9. Tractul rubrospinal; 10. Tractul spinotalamic.



## Structura bulbului

Asemănarea anatomică și structurală a bulbului cu măduva spinării se evidențiază și în modul de dispunere a masei nervoase; substanța albă se află la exterior, iar cea cenușie la interior. Spre deosebire însă de măduva spinării, în bulb, datorită încrucișării căilor piramidale (decusația piramidală) și a unor căi ascendente senzitive, substanța cenușie este fragmentată în mici insule sau nuclee. Astfel, prin fragmentarea coloanelor anterioare iau naștere nucleele motori, prin fragmentarea coloanelor posterioare se formează nucleele senzitive, iar prin fragmentarea coloanelor laterale iau naștere nucleele vegetative. Aceste mase nucleare își modifică atât situația, cât și aspectul lor, datorită canalului ependimar care se lărgeste la nivelul bulbului și tinde să se deschidă către peretele dorsal al acestuia, unde va forma podeaua ventriculului IV. Lărgirea canalului ependimar și apropierea lui de peretele dorsal al bulbului determină deplasarea coloanelor nucleare centrale rezultate din baza cornului ventral și dorsal, astfel: baza cornului anterior este deplasată dorsal, baza cornului posterior ajunge tot la fața dorsală a bulbului și se așază lateral față de baza cornului anterior, capul cornului posterior este și el deviat lateral și proemină pe fața dorsală a bulbului sub forma tuberculului cenușiu al lui Rolando. Astfel, toate masele nucleare sunt deplasate către fața dorsală a bulbului unde se înșiră sub planșeul ventriculului IV, cu excepția celei rezultate din capul cornului anterior, care rămâne în profunzimea bulbului înconjurat de substanța albă (Fig 30).

Nucleele formați prin fragmentarea substanței cenușii se numesc și nuclee echivalenți, ei fiind omologi centrilor medulari analizați.

În afara acestora, bulbul posedă și nuclee proprii.

Nucleele echivalenți pot fi: motori, senzitivi și vegetativi.

Nucleele motori sunt reprezentați de nucleul nervului hipoglos (XII) și de nucleul ambiguu al nervilor glosfaringian (IX), vag (X) și accesoriu sau spinal (XI).

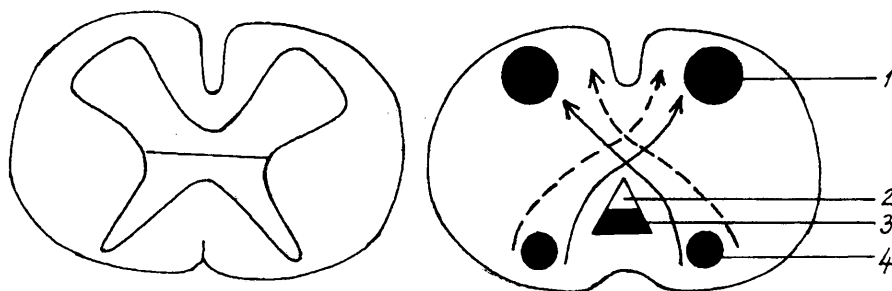


Fig. 30. Fragmentarea coloanelor cenușii la nivelul bulbului

1. Capul cornului anterior; 2. Baza cornului anterior; 3. Baza cornului posterior; 4. Capul cornului posterior.

Nucleii senzitivi cuprind nucleul solitar, stație terminus pentru fibrele senzitive ale intermediarului lui Wrisberg (VII-bis), vag (X) și glosotaringian (IX), o parte din nucleul senzitiv al trigemenului (V), nucleii vestibulari cu aferente senzitive vestibulare de la nervul acusticovestibular (VIII) și nucleii cohleari (anterior și posterior) cu aferente senzitive acustice de la nervul acusticovestibular (VII).

Nucleii vegetativi sunt formați din nucleul solitar inferior, care trimite fibre eferente viscero-motorii (secretorii) la glandele salivare și parotide prin intermediul nervului glosotaringian și nucleul dorsal al vagului de la care pornesc fibrele viscero-motorii la cord, plămâni și organele abdominale.

Din categoria nucleilor proprii fac parte: nucleul Goll, situat în piramida bulbară posterioară (expansiune dorsală din substanța cenușie comisurală care pătrunde în grosimea tractului lui Goll) și nucleul Burdach (nucleul cuneiform, cuneat sau restiform) situat în corpul restiform. În nucleii lui Goll și Burdach (în care sfârșesc tracturile lui Goll și Burdach) se găsesc deutero-neuronii pentru analiza secundară a semnelor sensibilității proprioceptive conștiente. Axonii acestor neuroni decapitează cornul posterior realizând încrucișarea piniformă, după care se plasează pe fața dorsală a tracturilor piramidale, formând lemniscul medial sau banda lui Reil mediană, care ajunge până la talamus.

Oliva bulbară (nucleul olivar) este o formațiune cenușie alcătuită dintr-o lamă de substanță cenușie, care se cutează și circumscrie un spațiu plin cu substanță albă, numit centru medular al olivei. Deschiderea situată pe partea medială a acesteia se numește hilul olivei. Oliva are o lungime de 1,4cm, o lățime de 6-7mm și o grosime de 2-3mm. Importante sunt conexiunile sale cu cerebelul, nucleul roșu, corpii striati, creierul mare și măduva. Acest nucleu se atașează sistemului extrapiramidal, participând la realizarea mișcărilor involuntare și semiautomatizate.

Nucleii vegetativi bulbari aparțin parasimpaticului cranian. Ei se găsesc anexați nucleilor nervilor glosotaringian și vag.

Vom deosebi așadar un nucleu parasimpatic situat lângă nucleul nervului glosotaringian, care se numește nucleul salivator inferior.



Din acest nucleu pornesc fibre care intră în alcătuirea nervului glosofaringian și a nervului timpanic terminat prin nervul mic pietros în ganglionul otic. Al doilea nucleu parasimpatic se află situat la originea vagului și se numește nucleul cardiopneumoenteric. Acesta dă prelungiri în nervul vag, care sunt distribuite cordului, pulmonilor și tubului digestiv până la unghiul splenic.

În componența bulbului mai intră și alte formațiuni și anume cum ar fi : substanța reticulată bulbară alcătuită din celule motorii, vegetative și de asociație, concentrate în nucleul lui Roller și nucleul lateral.

Acest segment al substanței reticulate formează un subsistem funcțional unitar cu segmentul similar din mezencefal – subsistemul reticulat al trunchiului cerebral, cu un rol excepțional în reglarea generală a tonusului și dinamicii activității psihice.

Substanța albă a bulbului este formată din fibre cu mielină, grupate sub formă de tracturi. Aceste fibre pot fi grupate în două clase. O primă clasă se referă la fibrele de trecere prin bulb (tracturi ascendente și descendente), iar a doua cuprinde fibrele proprii bulbului cu origine la acest nivel.

- Fibrele de trecere ascendente provin de la măduvă. Printre acestea deosebim fasciculul lui Goll, care conține fibre sacrate, lombare, toracale inferioare și toracale mijlocii, fasciculul lui Burdach care conține fibre toracale superioare și cervicale, tractul spinocerebelos dorsal care intră în pedunculul cerebelos inferior și se termină în scoarța vermisului de aceeași parte, tractul spinocerebelos ventral care trece în punte și tractul spinotalamic lateral care împreună cu tractul spinotalamic anterior (ventral) se așează la partea dorsală a lemniscului medial. Fasciculul lui Goll și Burdach se oprește în porțiunea mijlocie a bulbului, în nucleii cu același nume. Din celulele acestor nucleii pleacă axoni, care după ce descriu un drum arcuit (fibrele arcuate interne) se încrucișează cu cele de partea opusă (~~decusația~~ decusația senzitivă sau piriformă a lui Spitzka) și se situează în spatele tracturilor piramidale motorii. În acest traiect ele separă capul cornului dorsal de baza sa. După încrucișare fibrele urcă de o parte și de alta a liniei mediane, luând parte la formarea lemniscului medial (banda lui Reil).

- Fibrele de trecere descendente provin din formațiunile suprabulbare. Printre acestea deosebim: tracturile corticospinale (tractul corticospinal lateral și tractul corticospinal anterior) așezate în piramidele bulbare anterioare ( în partea inferioară a bulbului circa 80% din fibrele tractului corticospinal lateral se încrucișează), tracturile rubospinal, tectospinal, olivospinal, reticulospinal și vestibulospinal (în drum spre măduvă coboară prin substanța reticulată bulbară ventrolaterală).

- Fibrele de asociație alcătuiesc fasciculul longitudinal medial. Alături de fibrele medulare cordonale scurte, care leagă diverse etaje ale măduvei, întâlnim și fibre lungi, care unesc între ele diverse segmente ale trunchiului cerebral. Aceste fibre de asociație lungi se grupează în bulb, punte și pedunculi, într-un tract cunoscut sub numele de fascicul longitudinal medial, care se așează înapoia lemniscului medial.

- Fibrele proprii bulbului sunt descrise sub forma diferitelor grupări. Una din acestea este constituită din corpii restiformi (așezați pe fața dorsală a bulbului,

lateral, se compun din fibrele olivocerebeloase și fibrele tractului spinocerebelos dorsal) și juxtaresiformi (situați înăuntrul corpului restiform, se compune din fibrele descendente ale rădăcinii vestibulare a nervului acusticovestibular), care intră în alcătuirea pedunculului cerebelos inferior.

Cealaltă este reprezentată de fibrele arciforme sau arcuate interne sau profunde și fibrele arcuate externe, care au origine variată (nucleii vestibulari, oliva bulbară, nucleul lui von Monakow, nucleii arcuați și nucleul lui Goll și Burdach). Fibrele arcuate interne se încrucișează pe linia mediană, formând rafeul și o parte din substanța reticulară a bulbului. Fibrele arcuate externe sau ventrale iau naștere din partea laterală a corpului restiform, ajung pe fața ventrală a bulbului, intră în profunzime prin șanțul medioventral, se încrucișează și se unesc cu nucleii rafeului, în timp ce fibrele arcuate dorsale pleacă din nucleul lui von Monakow, înconjoară cordonul dorsal și intră în grosimea lui, pentru a ajunge la cerebel împreună cu tractul spinocerebelos dorsal.

## Funcțiile bulbului

Concentrarea într-un volum atât de redus a unui număr atât de mare de structuri individualizate - nucleii și fasciculele nervoase - atestă importanța funcțională a bulbului în cadrul activității cerebrale. Lui i se atribuie trei tipuri principale de funcții: 1. funcții de integrare reflexă, 2. funcții de conducere, 3. funcții de reglare.

1. Ca centru reflex, bulbul joacă un rol esențial în comanda și controlul activității principalelor organe interne. Astfel, la nivelul lui, se găsește centrul respirator, centrul cardiac, centrul vasomotor ș.a., legați de asigurarea funcțiilor vitale ale organismului - respirația și circulația sanguină; centrii unor procese digestive (salivație, deglutiție, supt etc.); centrii unor reacții de apărare (strănutul, tusea, clipitul, voma); centrii de reglare (intensificare, amplificare) a tonusului muscular.

Impulsurile pornite din centrul cardiac, transmise la cord pe calea nervilor periferici, pot cauza creșterea sau diminuarea ritmului acestuia.

Un grup de celule care aparțin centrului vasomotor inițiază impulsuri ce ajung la mușchii netezi din pereții vaselor sanguine. Această acțiune duce la contractarea vaselor sanguine (vasoconstricție) și la creșterea presiunii sanguine. Alte celule ale centrului motor produc un efect opus - o dilatație a vaselor sanguine și în consecință diminuarea presiunii sanguine.

Centrul respirator bulbar împreună cu cel pontin au rolul de a regla frecvența, ritmul și profunzimea respirației.

Automatismul constituie particularitatea centrilor bulbari. El se manifestă, pe de o parte, printr-o anumită independență funcțională, iar pe de altă parte prin capacitatea de autoexcitare determinată de modificările chimice ale sângelui (centri chemosenzitivi).

2. Funcția de conducere constă în mijlocirea transmiterii între zonele receptoare și centrii superiori ai integrării aferente (senzoriale), pe de o parte, și între centrii de comandă (motorii) și organele de execuție corespunzătoare, pe de altă parte.



Bulbul este traversat de două tipuri de fibre nervoase: ascendente și descendente. Căile ascendente se compun din fascicule (tracturi) care transmit informație de la receptori cutanați, proprioceptivi și viscerali: panglica Reil, fasciculele spinotalamice și fasciculele spinocerebeloase.

Căile descendente transmit mesaje de comandă emise de centrii encefalici superiori și sunt alcătuite din: fasciculele (tracturile) piramidale directe și încrucișate, fasciculele rubrospinal, reticulospinal, vestibulospinal, tectospinal, fasciculul central al calotei, fasciculul longitudinal.

3. Funcția de reglare a tonusului și dinamicii activității psihice se realizează, cu precădere, prin intermediul substanței reticulate.

### III. PUNTEA (Puntea lui Varioli)

În procesul embriogenetic, din metencefal se dezvoltă două formațiuni distincte ale SNC, atât anatomic, cât și funcțional. Ele sunt puntea și cerebelul.

Puntea apare la mamifere și atinge forma cea mai dezvoltată la om. Se poate observa un paralelism evident între gradul de dezvoltare al scoarței cerebrale, al punții și al formațiunilor neocerebeloase. Ca formă, puntea are un aspect cuboid cu înălțimea de 26mm, lățimea de 35mm și grosimea de 25mm. Ea este dispusă transversal deasupra bulbului întinzându-se de la o emisferă cerebeloasă la alta. Puntea propriu-zisă are o parte liberă care proieminează anterior și care este delimitată atât în sus, cât și în jos prin câte un șanț. Fibrele acesteia cu direcție transversală sunt bine evidențiate de striația mai mult longitudinală a bulbului și a pedunculilor cerebrali. Prin urmare, la punte putem deosebi o față anterioară, o față posterioară, două fețe laterale și marginile - superioară și inferioară -.

Fața anterioară este străbătută pe linia mediană de un șanț longitudinal (șanțul bazilar), în interiorul căruia se situează trunchiul arterial bazilar. Pe marginile șanțului se reliefează două umflături numite piramidele pontine, prelungire la acest nivel a piramidelor bulbare.

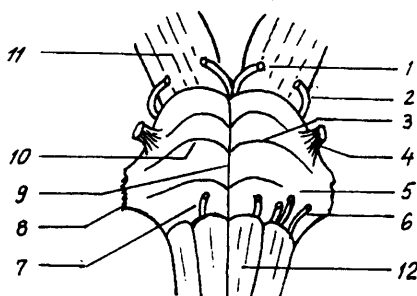
Lateral de piramidele pontine, la limita dintre punte și pedunculul cerebelos mijlociu se află emergența nervului trigemen.

Fețele laterale se continuă cu pedunculii cerebeloși mijlocii.

Fața posterioară acoperită de cerebel are o formă triunghiulară și constituie jumătatea superioară a podișului ventriculului al patrulea. Ea se află în continuarea bulbului, de care se apropie ca structură.

Sus, șanțul pontopeduncular desparte puntea de mezencefal, iar jos șanțul bulbopontin o desparte de bulb. În șanțul interpeduncular apare nervul oculomotor; în unghiul pontomezencefalic apare nervul trohlear; în unghiul pontocerebelos iese nervul acusticovestibular și trigemen, iar medial nervul intermediofacial; în șanțul bulbopontin deasupra piramidei bulbare se află nervul abducens (fig. 31).

În structura internă a punții dispoziția celor două tipuri de substanță nervoasă este similară cu cea a bulbului. În interior, în formă de insule și nuclei, se află substanța cenușie, iar la exterior, dominantă la acest nivel, se găsește substanța albă.



**Fig. 31.** Fața anterioară a punții

1. Nervul oculomotor, 2. Nervul trohlear, 3. Puntea, 4. Nervul trigemen, 5. Nervul facial, 6. Nervul vestibulocohlear, 7. Nervul abducens, 8. Pedunculul cerebelos mijlociu, 9. Șanțul bazilar, 10. Fibre oblice, 11. Pedunculul cerebral, 12. Bulbul.

În grosimea punții se disting două segmente: unul anterior, numit picior, și altul posterior, numit calotă. Cele două segmente sunt despărțite de corpul trapezoid. Pe linia mediană se observă o încrucișare de fibre, formațiuni ce poartă numele de rafeu. Acesta împarte puntea în două jumătăți simetrice.

Substanța albă a piciorului se compune din două tipuri de fibre nervoase: a. longitudinale (fibrele corticospontine, fibrele corticospinale), care pornesc din scoarța cerebrală și se termină în nucleii punții sau merg mai jos în bulb și măduvă; b. transversale, care pornesc din nucleii punții, se încrucișează pe linia mediană și se termină, formând pedunculii cerebeloși mijlocii (tracturile pontocerebeloase).

Substanța cenușie a piciorului este formată din mici insule nucleare de la care pornesc fibrele transversale și la care se termină unele fibre longitudinale ce vin de la scoarța cerebrală (fibrele corticospontine).

Calota este formată din trei feluri de substanță nervoasă: albă, cenușie și reticulată.

Substanța albă cuprinde fibre ascendente care vin de la cornul posterior al măduvei, de la nucleii fasciculului lui Goll și Burdach, din nucleii senzitivi ai nervilor cerebrali și se duc spre cerebel, spre nucleii subcorticali, talamus și tectum (tractul spinotalamic, tractul spinocerebelos anterior - Gowers, fasciculul longitudinal medial, lemniscul medial) și fibre specific pontine de tipul celor corticospontinocerebeloase.

Căile descendente vin dinspre scoarța cerebrală, de la nucleii subcorticali și în parte din cerebel.

Din căile cu origine corticală face parte tractul piramidal, o cale cu origine corticală, compus din fibre corticospinal și corticonucleare. Fibrele corticonucleare se termină în nucleii pontini motori ai nervilor IV, V, VI și VII. Fibrele corticospontine pornesc din cei patru lobi cerebrali (tractul temporo-fronto-parieto și occipitopontin) și se termină la nivelul nucleilor pontini.

În punte aceste fibre corticonucleare sunt despărțite în mănunchiuri de către fibrele transverse.

Celelalte căi descendente formează tracturile: rubrospinal, rubroolivă, tectospinal și reticulospinal.

Fibrele reticulare intră în compoziția intracerebrală a diferiților nervi cranieni. Fibrele senzitive se termină în nucleii senzitivi ai nervilor V, VII și VIII iar fibrele motorii pleacă din nucleii nervilor motori.



Fibrele arcuate interne și externe, anterioare și posterioare pleacă (ca și în bulb) din nucleii senzitivi și trec în partea opusă.

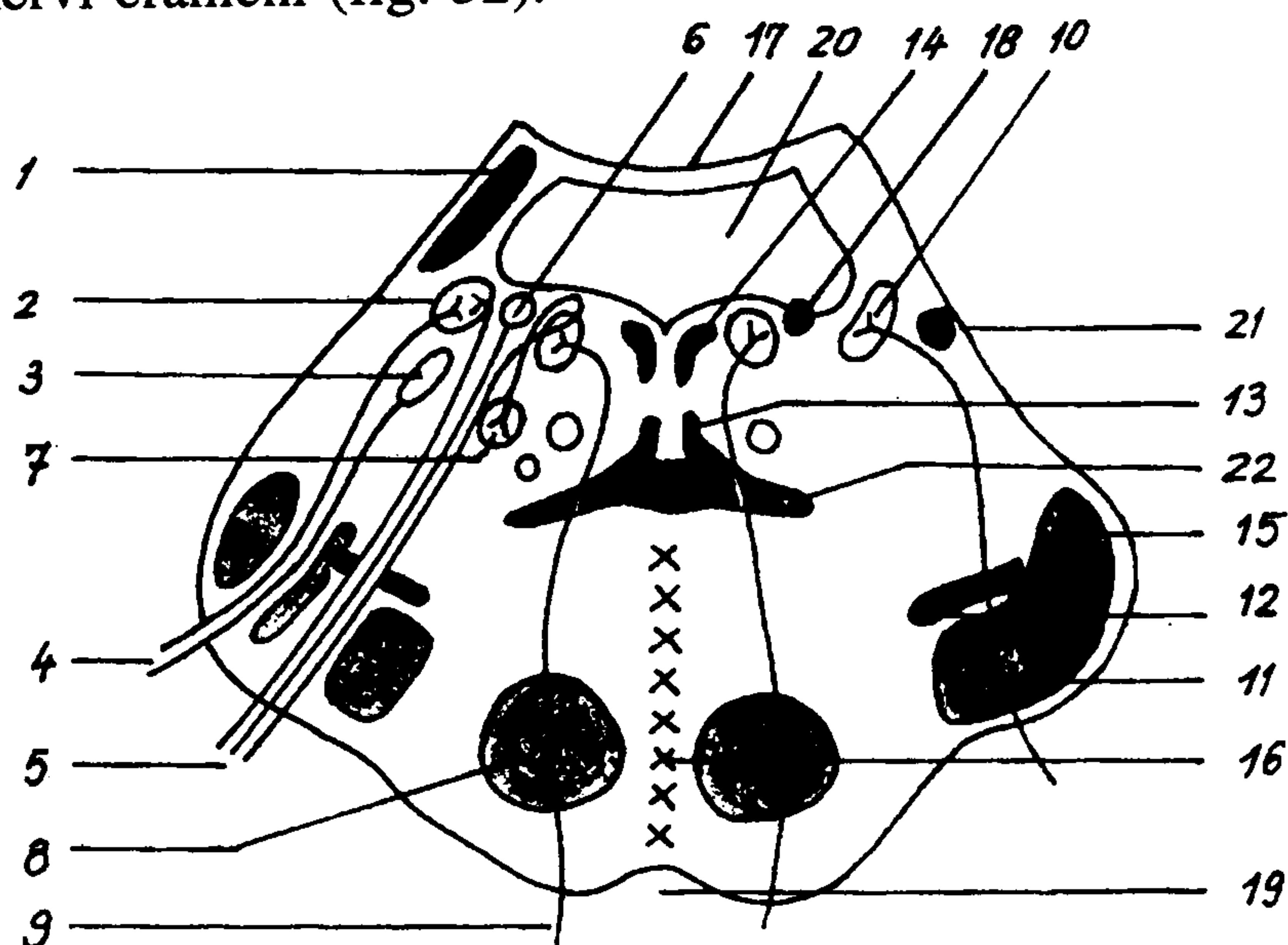
O formațiune specifică punții este corpul trapezoid situat între picior și calotă. El este format din fibre transverse pornite din nucleul cohlear anterior, care încrucișând linia mediană se continuă pe partea opusă formând lemniscul lateral. Corpul trapezoid reprezintă o parte a căilor de conducere auditivă.

Fasciculul longitudinal medial trece sub fața posterioară a punții, aproape de linia mediană, de la planșeul ventriculului trei și până în segmentul cervical al măduvei spinării. El are fibre ascendente și descendente. Datorită legăturilor sale cu toți nucleii nervilor oculomotori, vestibulari și motori ai mușchilor cervicali, acest fascicul este o cale importantă de conducere a impulsurilor legate de mișcările de orientare a ochilor, capului și gâtului.

Lemniscul medial (panglica lui Reil) este fasciculul vast format din fibre ascendente, care pornesc de la nucleii senzitivi inferiori și ajung până la talamus și tectum. Topografic, el are o poziție pontină centrală. Pe partea laterală i se adaugă fibrele acustice care capătă denumirea de lemnisc lateral.

Există deci, căi care trec numai prin punte spre formațiunile superioare sau inferioare și fibre pontine care au unul din capete la acest nivel.

Substanța cenușie este reprezentată de nucleii unor nervi cranieni (motori, senzitivi și vegetativi) și de formațiuni proprii ale punții. În punte își au originea: perechea a V-a (trigemen motor și senzitiv), perechea a VI-a (oculomotor extern-motor), perechile a VII-a și a VII-a bis (facial motor), perechea a VIII-a (acustico-vestibular) de nervi cranieni (fig. 32).



**Fig. 32.** Secțiune transversală prin punte.

1. Pedunculul cerebelos superior; 2. Nucleul senzitiv superior al nervului trigemen;
3. Nucleul motor al nervului trigemen; 4. Nervul trigemen; 5. Nervul facial; 6. Nucleul salivar superior; 7. Nucleul nervului facial; 8. Tractul corticospinal și tractul corticobulbar; 9. Nervul abducens; 10. Nucleul vestibular superior; 11. Nervul acusticovestibular; 12. Lemniscul lateral; 13. Lemniscul medial; 14. Fasciculul longitudinal medial; 15. Pedunculul cerebelos mijlociu; 16. Rafeul pontin;
17. Vălul medular superior; 18. Fasciculul longitudinal dorsal; 19. Șanțul bazilar; 20. Ventriculul patru; 21. Lemniscul lateral; 22. Corpul trapezoid.

Substanța reticulată este situată în partea mijlocie a punții între nucleii nervilor cerebrali și porțiunea bazală, aproape de linia mediană. Ea se compune din fibre și celule nervoase cu așezare dezordonată, formând o substanță care se deosebește atât de substanța albă cât și de cea cenușie. Micile îngrămădiri de celule nervoase alcătuiesc nucleul reticular în care putem distinge nucleii mai mici.

Fibrele au dat naștere aspectului specific și denumirii de substanță reticulată.

Parțial aceste fibre sunt organizate în tracturi motorii ascendente și descendente ca: tractul spinoreticulat, reticulospinal, reticuloreticulat și rubroreticulat.

### Fiziologia punții

Puntea îndeplinește o funcție de integrare reflexă și una de conducere. Nucleii pontini realizează reflexe somatice și vegetative, ca de exemplu reflexul lacrimal, reflexul salivar, reflexul masticator, reflexul corneean, reflexul sudiopalpebral, reflexul audiooculogir, reflexe secretorii (sudoripare și sebacee ale feței și pielii capului) contracția mușchilor feței (mimica expresivă), mișcarea de lateralitate a globilor oculari, tonusul muscular. Toate aceste reflexe se includ în calitate de componente în diverse forme de comportament, ele fiind astfel integrate și controlate și la nivelul superior al nevraxului.

Funcția de conducere asigură circulația informației extrase din mediul extern și cel intern ale organismului către centrii subcorticali și corticali și a mesajelor de comandă în sens descendent către organele de execuție. Ea este îndeplinită prin intermediul fasciculelor care trec prin punte.

## IV. MEZENCEFALUL

Mezencefalul, situat imediat după tentorium cerebelli, este despărțit de punte printr-un plan care trece prin marginea superioară a acesteia, iar de diencefal printr-un alt plan care unește comisura posterioară a creierului cu marginea posterioară a corpiilor mamilari.

Axul mezencefalului are o orientare longitudinală, aproape verticală și continuă în sus pe cel al etajelor inferioare ale trunchiului cerebral. Mezencefalul are o față anterioară, una posterioară și două laterale (Fig. 33).

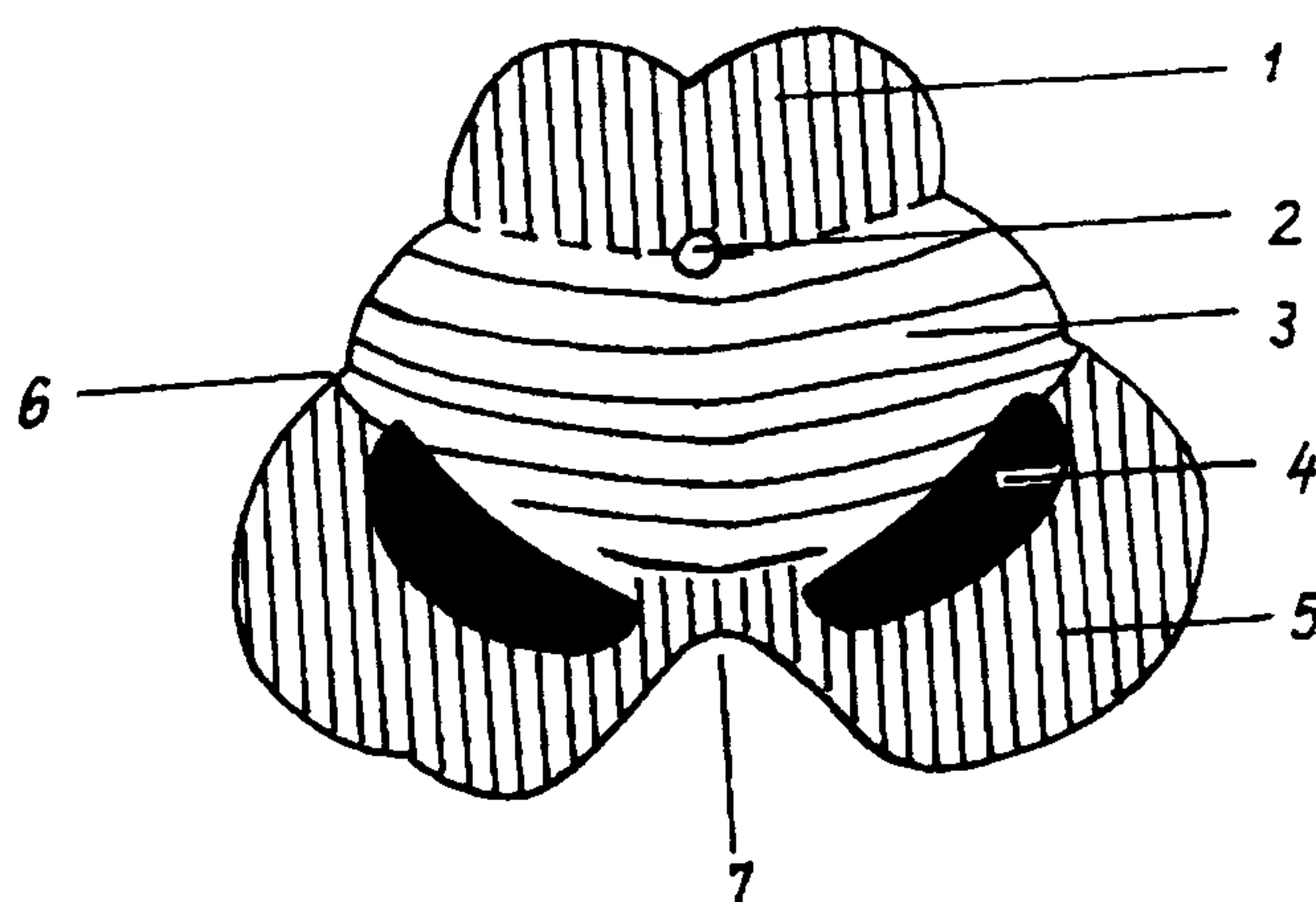
**Fața anterioară** sau bazală este singura care rămâne accesibilă vederii. Pe linia mediosagitală a acesteia se găsește o depresiune longitudinală cu baza în sus spre corpiii mamilari, numită fosa intercrurală sau interpedunculară. În profunzimea acesteia se găsește substanța perforată posterioară, străbătută de vase. Fosa interpedunculară este mărginită lateral de picioarele pedunculilor cerebrali, care pornesc din protuberanța după care se îndepărtează de linia mediană și pătrund în hemisferele cerebrale. Pe fața mediană a pedunculilor se află originea aparentă a celei de-a III-a perechi de nervi cranieni (oculo-motorii comuni).

**Fața posterioară** a mezencefalului este invizibilă la adult, prin faptul că este acoperită de cortul cerebelului și de lobii occipitali.



**Fig. 33.** Secțiune transversală prin mezencefal care relevă etajele acestuia.

1. *Tectum*; 2. *Apeductul cerebral*; 3. *Tegmentum* (sau *calotă*); 4. *Substanță neagră*; 5. *Piciorul pedunculilor cerebrali* (*crura cerebri*); 6. *Șanțul mezencefalic lateral*; 7. *Fosa interpedunculară*.



Pe această față se găsește lama cvadrigeminală a tectului mezencefalic cu cele patru proeminențe rotunde, corpii sau coliculii cvadrigemeni. Limita superioară este dată de talamus și epitalamus, iar cea inferioară de vâlul medular inferior al cerebelului și pedunculii cerebeloși superiori.

**Fețele laterale** ale mezencefalului corespund tegmentului mezencefalic și piciorului peduncular. Între picior și tegment se întinde șanțul lateral al mezencefalului. Fețele laterale vin în raport cu girusul hipocampului.

**Pe suprafața de secțiune**, mezencefalul apare alcătuit din trei etaje suprapuse: 1. etajul situat posterior de apeduct, numit tectum; 2. etaj mijlociu, numit tegment sau calotă (continuă în sus tegmentul pontin); 3. etajul anterior, format de picioarele pedunculilor cerebrali.

Limita dintre tegment și picior o formează substanța neagră sau locus niger-Sommering. Între treimea posterioară (tectum) și mijlocie tegment se află apeductul lui Sylvius, un canal destul de strâmt care face legătura între ventriculul IV și ventriculul III. El este căptușit cu un epiteliu ependimar, iar în jurul său se grupează substanța cenușie centrală a mezencefalului cu formațiuni nucleare.

Așa cum am arătat, din mezencefal se dezvoltă două formațiuni structurale principale: a. pedunculii cerebrali (picioarele pedunculilor cerebrali și tegmentul) și b. tuberculii cvadrigemeni (tectum).

Structura anatomică internă a pedunculilor cuprinde atât substanța albă, cât și substanța cenușie. Pe diametrul lor transversal se delimitează două regiuni: piciorul pedunculului (partea anterioară) și calota pedunculului (porțiunea posterioară).

**Picioarele pedunculilor** sunt alcătuite numai din substanță albă, reprezentând fascicule de fibre nervoase care pornesc din scoarța cerebrală și merg la nucleii encefalici, protuberanță și măduvă (fibrele geniculate leagă scoarța cerebrală cu nucleii motori ai nervilor cranieni, tractul piramidal leagă scoarța cu coloanele motorii ale măduvei, iar fibrele corticopontine leagă scoarța cerebrală cu puntea).

Tractul piramidal sau corticospinal ocupă cele trei cincimi mijlocii ale piciorului peduncular. Prin partea laterală a celor trei cincimi mijlocii trec fibrele

care conduc impulsul spre musculatura membrului inferior, în partea mijlocie trec cele pentru musculatura trunchiului, iar medial cele pentru musculatura membrului superior.

Fibrele geniculate (trec prin genunchiul capsulei interne) ocupă cincimea medială și cincimea laterală (împreună cu fibrele temporopontine) a piciorului peduncular.

Tractul corticonuclear trece prin partea anterioară a genunchiului capsulei interne, iar în mezencefal se situează în partea superioară (rostrală) a acestuia. Fibrele se încrucișează pe linia mediană la nivelul tegmentului și se termină atât la nucleii motori ai globilor oculari, cât și la nucleii formațiunii reticulate.

Tractul corticopontin cuprinde mai multe fascicule: tractul frontopontin, care în piciorul peduncular ocupă cincimea medială împreună cu tractul geniculat, tractul temporopontin, care ocupă cincimea laterală a piciorului peduncular, și de asemenea mai există tracturile parieto și occipitopontine. Fibrele acestor tracturi fac sinapsă în nucleii punții și de acolo merg spre cerebel. În afară de acestea mai există unele tracturi cu fibre aberante (tractul palidonigric, per lemniscus profundus, tractul frontopontin și fibrele din tenia pontis).

**Calota pedunculară sau tegmentul mezencefalic** (etajul mijlociu al mezencefalului) format din substanță albă și substanță cenușie este cuprins între lamina tecti și piciorul pedunculilor cerebrali, fiind separat de aceștia din urmă prin substanța neagră. Calota pedunculară se continuă în jos cu tegmentul pontin, iar rostral se pierde în diencefal.

Substanța albă este reprezentată de fibrele nervoase care își au originea în talamus și hipotalamus, de fasciculele care își au originea în măduva spinării și în protuberanță și de fibre care se opresc sau pleacă din centrul mezencefalic, aparținând aparatului reflex al creierului mijlociu și posterior.

**Lemniscul medial**, încă din punte, își dispune fibrele transversal, iar în mezencefal se situează tot mai lateral în substanța albă a tegmentului, posterior de porțiunea laterală a substanței negre. Pe secțiunea transversală ia forma unui corn cu vârful îndreptat latero-dorsal. Câteva din fibrele sale se opresc în substanța neagră, iar restul urcă spre talamus. Împreună cu lemniscul medial merg fibrele nucleului senzitiv al vagului și fibrele nucleului senzitiv al trigemenului

**Lemniscul lateral** (panglica Reil laterală) conține fibre aparținând căilor auditive și se situează lateral și mai posterior de lemniscul medial. O parte din fibrele sale se opresc în coliculul inferior, mai puțin în cel superior, iar cea mai mare parte ajung la corpul geniculat medial.

**Fasciculul longitudinal medial** reprezintă o importantă cale de legătură între nucleii trunchiului cerebral. Este situat în partea ventrală a substanței cenușii centrale, anterolateral de nucleul oculomotorului. El conține fibre ascendente de la nucleii vestibulari spre nucleii motori ai globilor oculari și fibre descendente spre măduvă. Funcțional, are un rol foarte important în coordonarea mișcărilor globilor oculari, capului și trunchiului.

**Fasciculul longitudinal posterior** este format din fibre care pleacă din hipotalamus, din nucleul dorsal al tegmentului și din nucleul tractului solitar și ajung



la nucleii vegetativi ai trunchiului cerebral, la nucleii motori ai bulbului și punții și probabil la nucleii vestibulari.

**Tractul spinotalamic** se află dorsal de lemniscul medial și este însoțit de fibrele tracturilor spinotectal și nucleotectal.

Aceste trei tracturi se duc în coliculii cvadrigemeni, iar fibrele tractului spinotalamic merg spre talamus alături de lemniscul medial.

**Tractul cerebelotegmental** (dentorubric) reprezintă principalul constituent al pedunculilor cerebeloși superiori. Fibrele sale se decusează anterior de substanța cenușie centrală, în regiunea inferioară a mezencefalului. După decusație, în sus, pleacă fibrele tractului cerebelorubric și tractul cerebelotalamic. Fibrele acestuia trec și ele prin nucleul roșu, iar mai sus o parte dintre ele se opresc la nucleul subthalmic (corpul Luys).

**Tractul rubrospinal** formează decusația anterioară a lui Forel, după care trece prin tegment în jos, anterior de decusația pedunculilor cerebeloși superiori și posterior de lemniscul medial. Din el se desprind fibrele tracturilor rubroreticulate și fibrele care merg la nucleul motor al trigemenului și facialului.

**Tractul tectonuclear și tectospinal** au fibre care pornesc din coliculii cvadrigemeni și ajung la nucleii motori ai globilor oculari și fibre care trec printre nucleul oculomotorului și nucleul roșu și care se decusează pe linia mediană anterior de fasciculul longitudinal medial și dorsal de decusația lui Forel, formând decusația dorsală a lui Maynert. Coboară apoi anterior de fasciculul longitudinal medial, de o parte și de alta a liniei mediane. El dă fibre nucleilor motori ai trunchiului cerebral (tractul tectonuclear) și neuronilor motori ai coarnelor anterioare ale măduvei spinării (tractul tectospinal).

**Tractul central al tegmentului sau fasciculului central al calotei** este situat anterior de substanța cenușie centrală în apropierea nucleului trohlearului și posteromedial de lemniscul medial. El cuprinde fibre palidoolivare, precum și fibre rubroolivare și rubroalamice.

Tractul tectocerebelos merge prin pedunculii cerebeloși superiori direct la cerebel. Prin urmare, în tegmentul mezencefalic printre nucleii substanței cenușii și formațiunea reticulată se găsesc numeroase tractusuri, dintre care unele sunt căi de proiecție corticală venite din etajele inferioare ale nevraxului, iar altele se opresc sau pleacă din centrii mezencefalici, aparținând aparatului reflex al creierului mijlociu și posterior.

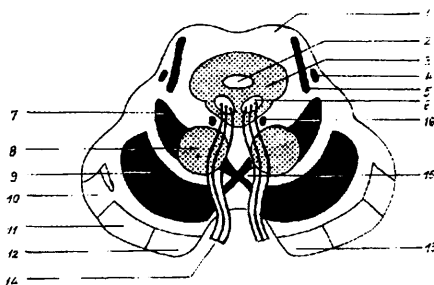
**Substanța cenușie a tegmentului** (fig. 34) este formată din substanța cenușie centrală grupată în jurul apeductului, cu diferențieri nucleare în interiorul ei și mase nucleare specifice mezencefalului. Printre acestea și printre formațiunile substanței albe se găsește formațiunea reticulată.

Constituenții substanței cenușii diferă în lungul mezenzefalului după localizare (inferioară, mijlocie și superioară).

**Substanța neagră** sau locus niger, cea mai mare masă nucleară a tegmentului mezencefalic, este o structură compactă de formă semilunară (privită în secțiune transversală). În alcătuirea ei intră, cu precădere, celule mari multipolare, puternic impregnate cu pigment melanic. El se întinde de la șanțul

medial al mezencefalului la cel lateral și are formă semilunară cu concavitatea îndreptată spre tegment. Toate formațiunile care alcătuiesc sistemul melanic al creierului mijlociu împreună cu nucleul dorsal al vagului, locus coeruleus etc, se încadrează în sistemul melanic al trunchiului cerebral, care prezintă leziuni evidente în parkinsonismul postencefalitic.

Căile aferente sunt formate din : tractul corticonigral, care aduce fibre din aria 4,6 și 8, precum și din câmpurile corticale parietale și temporale, tractul striatonigral și palidonigral, ale căror fibre trec prin ansa lenticulară și prin fasciculul lenticular și tractul subthalamonigral ce vine de la corpul lui Luys.



**Fig. 34.** Secțiune transversală prin pedunculul cerebral la nivelul decusației pedunculilor cerebeloși superiori.

1. Coliculi superiori; 2. Apeductul cerebral; 3. Substanța cenușie periaeductală; 4. Lemniscul lateral; 5. Tractul spinotectal; 6. Nucleul oculomotor; 7. Lemniscul medial; 8. Nucleul roșu; 9. Substanța neagră; 10. Tractul occipito-temporo-pontin; 11. Călea corticospinală; 12. Călea corticonucleară; 13. Călea corticopontină; 14. Nervul oculomotor; 15. Decusația Forel (tracte rubrospinale); 16. Fasciculul longitudinal medial.

Substanța neagră mai primește aferente prin tractul mamilonigral, olfatonigral, tectonigral și din fibrele colaterale din lemniscul medial, din călea optică și din cea olfactivă.

Așadar, această formațiune primește impulsuri de la toată suprafața corpului, precum și de la organele auditive, vizuale și olfactive.

Căile eferente ale substanței negre pleacă prin fibrele tractului nigrostriar, nigropalidal și nigrotalamic. Se cunoaște mai puțin călea nigrocorticală. Fibrele care coboară spre etajele inferioare ale nevraxului, ajung la nucleii din punte și bulb, pe călea piciorului (tractul nigropontin), iar altele prin tegment (tractul nigroreticulat). Mai există fibre care merg și la nucleul roșu, fibrele nigrorubrice. Activitatea substanței negre este controlată de către nucleii de la bază și de scoarța cerebrală. Din conexiunile pe care le are derivă rolul important al acestei formațiuni în integrarea impulsurilor senzoriale și în reglarea mișcărilor fine.

**Nucleul roșu** (Stillling) este situat în partea superioară a tegmentului mezencefalic deasupra substanței negre, având o formă ovală și o culoare cărămidie datorită încărcării cu fier a coloizilor intracelulari și bogăției sale vasculare. În structura sa se distinge o zonă parvocelulară (celule de talie mică) și o zonă magnocelulară (celule de talie mare).

Nucleul roșu are numeroase conexiuni atât cu formațiuni ale etajelor inferioare ale nevraxului, cât și cu centrii superiori, intercalate din punct de vedere funcțional pe căile extrapiramidale.



Căile aferente pot fi sistematizate în mai multe tracturi.

Tractul vestibulorubric pleacă din nucleul vestibular lateral și ajunge la nucleul roșu prin intermediul fasciculului longitudinal medial. Tractul reticulorubric vine de la nucleii reticulari ai tegmentului și are un rol important în coordonarea impulsurilor plecate din nucleul roșu. Tractul cerebelorubric aduce influxuri ale sensibilității profunde recepționate de cerebel. Tractul tectorubric aduce impulsuri de la coliculi cvadigemeni. Tractul talamorubric leagă talamusul cu nucleul roșu. Tractul palidorubric aduce fibre de la nucleul roșu și substanța neagră. Tractul palidonigrorubric aduce fibre din globus pallidus și nucleul subtalamic. Tractul corticorubric aduce fibre din ariile 4 și 6 ale cortexului frontal, precum și din ariile 3 și 5 ale lobului parietal.

Căile aferente pleacă atât din partea magnocelulară, cât și din cea parvocelulară a nucleului roșu. Tractul rubrotectal are fibre care merg la coliculi cvadrigemeni și tractul rubrospinal. Tractul rubrospinal se încrucișează imediat după ieșire formând decusația anterioară a tegmentului sau decusația lui Forel. Fibrele sale ajung la motoneuronii coarnelor anterioare ale măduvei spinării. Din partea parvocelulară a nucleului roșu pleacă în jos fasciculul central al tegmentului, care duce fibre la oliva bulbară prin tractul ruboolivar și la formațiunea reticulată prin tractul rubroreticulat.

Tractul rubrotalamic ajunge la nucleul ventral rostral lateral, care prin intermediul acestuia se proiectează pe ariile 4 și 6 ale cortexului frontal. Tractul rubrostriat se distribuie nucleilor de la bază.

Din punct de vedere funcțional, nucleul roșu are un rol important în distribuția normală a tonusului muscular. Separarea prin secțiune sau lezare a nucleului roșu de segmentele inferioare (bulb, măduvă) duce la intensificarea exagerată a tonusului muscular, separare cunoscută sub denumirea de rigiditate prin decerebrare. Aceasta dovedește că nucleul roșu exercită o influență inhibitorie asupra centrilor bulbari și medulari. Însă activitatea nucleului roșu este subordonată, la rândul ei, controlului centrilor extrapiramidali superiori și scoarței cerebrale. În reglarea tonusului muscular este angajată și substanța neagră, lezarea ei ducând la tulburări ale tonusului muscular.

Secționarea mezencefalului superior de nucleul roșu nu produce rigiditate prin decerebrare.

**Nucleul trohlearului** reprezintă originea reală a perechii a IV- a de nervi cranieni. El este situat în partea anterioară a substanței cenușii centrale de o parte și de alta a liniei mediane, corespunzând planului transversal care trece prin coliculi inferiori. Nucleul este alcătuit exclusiv din neuronii motori, iar axonii lor inervează un singur mușchi al globului ocular, mușchiul oblic superior.

Fibrele nervoase părăsesc nevraxul sub coliculi inferiori, fiind singurul nerv cranian cu originea aparentă pe fața posterioară a trunchiului cerebral. El este cel mai subțire, deoarece conține circa 2400-2600 de axoni.

**Nucleul oculomotorului** (perechea a III-a) este cel mai superior (rostral) dintre nucleii motori ai nervilor cranieni. El este situat în tegmentul mezencefalic, anterior de apeductul cerebral și în partea anterioară a substanței cenușii centrale.

Alături de celulele care trimit axoni la întreaga musculatură striată, extrinsecă a globilor oculari, cu excepția mușchilor drept extern și oblic superior, se găsesc și celule cu funcții vegetative parasimpatice ale căror fibre conduc impulsuri motorii spre mușchii netezi ai globilor oculari (intrinseci) cum sunt mușchii sfincter ai pupilelor și mușchiul ciliar. Axonii care formează nervul oculomotor, părăsind nucleii, se îndreaptă anterior și lateral, străbat parțial nucleul roșu și substanța neagră și ajung la suprafață în șanțul median al mezencefalului.

Nucleii motori oculari III, IV, VI stabilesc conexiuni între ei prin fasciculul longitudinal medial și tot prin acesta primesc fibre de la nucleii vestibulari și lemniscul trigeminal.

Prin tractul tectobulbar stabilesc legături cu tectul mezencefalic și mai ales cu corpii cvadrigemeni superiori, principalul centru subcortical al reflexelor vizuale la om. Legătura de subordonare cu centrii corticali se face prin intermediul tractului corticonuclear.

Coordonarea mișcărilor globilor oculari cu ale capului, trunchiului și membrelor se face prin legătura acestor nucleii cu nucleii vestibulari prin fasciculul longitudinal medial și prin conexiunea nucleilor vestibulari cu motoneuronii coarnelor anterioare ale măduvei spinării. Nistagmusul rotator și postrotator produs de excitațiile plecate din canalele semicirculare prin rotația capului se datorează conexiunii nucleilor III, IV, VI cu nucleii vestibulari. Prin tectul mezencefalic nucleii motori ai globilor oculari se leagă funcțional și de calea optică, auditivă etc.

Calea principală pentru realizarea mișcărilor voluntare ale globilor oculari este reprezentată de tractul corticonuclear și conexiunile acestuia cu ariile frontale a 8-a, a 6-a, etc. Legăturile prin intermediul aceluiași tract cu aria 19 din cortexul occipital reglează mișcările reflexe, automate (acomodarea și mișcările de convergență, deplasarea globilor oculari în vederea centrală).

Mișcările globilor oculari se fac simultan datorită unui singur centru de comandă. În cazul lezării zonelor corticale amintite, nu se păstrează decât reflexele simple (pupulare, de clipire etc.). Inervația mușchilor globilor oculari respectă principiul inervației reciproce (în timpul contracției musculare a unui anumit grup, mușchii antagoniști se relaxează).

**Nucleul tractului mezencefalic al trigemenului** se află situat lateral de substanța cenușie centrală, posterior și lateral de nucleul oculomotorului, în dreptul colicuilor cvadrigemeni superiori.

Nucleul tractului mezencefalic al trigemenului primește excitații proprioceptive din mușchii masticatori și probabil din mușchii extrinseci ai globilor oculari. El trimite impulsuri la nucleul motor al trigemenului cu rol de activare al mișcărilor de coborâre a mandibulei și de frânare a mișcărilor de ridicare.

**Nucleul interstițial** (Cajal) este situat în formațiunea reticulată a tegmentului, dorsomedial de nucleul oculomotorului, la intrarea apeductului în ventriculul III. La acest nucleu vin fibre de la nucleul vestibular lateral prin fasciculul longitudinal medial, de la pallidum prin ansa lenticulară (tractul palidointerstițial), de la nucleii



cerebeloși (fastigial și dințat) de partea opusă și de la cornul geniculat lateral (calea optică) prin tractul geniculotectal.

Prin conexiunile sale cu nucleii oculomotori, nucleul interstițial este considerat centrul subcortical pentru mișcările verticale și rotații ale globului ocular. Lezarea sa produce nistagmus vertical și chiar paralizia de verticalitate (Sindromul lui Parinaud).

Centrul pentru mișcările laterale ale globului ocular se află în formațiunea reticulată lateral de fasciul longitudinal medial.

**Nucleul lui Darkschewitsch** este situat posterolateral de polul superior al oculomotorului. El primește fibre din palid, din comisura posterioară și din nucleul fastigial și dințat de partea opusă.

**Nucleul intercrural** sau interpeduncular se află în partea posterioară a substanței perforate posterioare. El primește fibre din nucleul habenulei, prin tractul habenulocrural sau fasciculul retroreflex (Maynert). Acest nucleu este mult mai dezvoltat la vertebrele inferioare.

**Nucleul dorsal al tegmentului** (Gudden) este situat în partea inferioară a tegmentului mezencefalic în substanța cenușie centrală la limita cu puntea, de o parte și de alta a planului mediosagital.

**Substanța reticulată** este situată în partea anterioară și inferioară a substanței negre. În structura ei intră celule de taliemică fără pigment, dispuse în formă de rețea. Interacționează strâns cu cea de la nivelul bulbului și punții, alcătuind împreună mecanismul reticulat al trunchiului cerebral.

## Tectul mezencefalic

Tectul sau acoperișul mezencefalului ocupă treimea dorsală situată posterior de apeductul cerebral și tegment. El este format din lama cvadrigeminală cu doi tuberculi (coliculi) cvadrigemeni superiori și doi inferiori.

- **Tuberculii cvadrigemeni superiori** se situează în partea anterioară a lamei cvadrigeminale. Structural, se caracterizează printr-o alternanță a straturilor de substanță albă și substanță cenușie: stratul zonal format din fibre nervoase subțiri; stratul cenușiu superficial la neuronii cărora vin fibre corticotectale occipitale; stratul optic sau medular superficial cu fibre retinotectale, care din tractul optic merg la corpul geniculat lateral și coliculul superior; stratul cenușiu mijlociu format din neuroni mari ai căror axoni se îndreaptă spre stratul cenușiu profund; stratul medular mijlociu alcătuit din fibre aferente (tractul spinotectal, fibre tactile din lemniscul medial și fibre din lemniscul lateral); stratul cenușiu profund format din neuroni mari din care pleacă fibrele aferente ale coliculului superior și stratul medular profund. Între cei doi coliculi se află comisura coliculilor superiori, iar deasupra acesteia se găsește comisura posterioară a creierului. Brațele coliculilor superiori ajung la corpii geniculați laterali și sunt formate din fibre derivate din calea optică (tractul geniculotectal) și fibre corticotectale sosite de la scoarța lobului occipital.

Coliculii superiori primesc aferente de la corpul geniculat lateral (tractul geniculotectal), scoarța cerebrală (fibre corticotectale din aria 18 și 19 care coordonează mișcările teleokinetice, mișcările automate de urmărire a obiectelor în mișcare, proiecția obiectelor în vederea centrală, reflexele de acomodare și convergență), măduva spinării (tractul spinotectal care aduce excitații proprioceptive din musculatura trunchiului), nucleul senzitiv al trigemenului (tractul nucleotectal care transmite excitațiile proprioceptive din musculatura cefei și a globilor oculari), precum și fibre din tracturile vestibulotectal, reticulotectal, nigrotectal, cerebelotectal, talamotectal, palidotectal, habenulotectal și retinotectal.

La rândul lor coliculii (tuberculii) cvadrigemeni superiori dau o serie de eferente ca, de pildă, tractul tectonuclear, ale cărui fibre se distribuie la nucleul nervului oculomotor (III), la nucleul nervului facial (VII), pentru mușchiul orbicular al pleoapelor, la nucleul nervului accesoriu (XI), pentru mușchii gâtului, și tractul tectospinal, ale cărui fibre se termină la neuroni somato-motori din coloanele anterioare ale regiunii cervicale a măduvei.

Rolul funcțional al coliculiilor cvadrigemeni superiori constă în reglarea automată a mișcărilor oculare și a celor implicate în realizarea reflexului de orientare la stimuli vizuali și a fixării obiectului în zona perceptibilității optime.

- *Tuberculii (coliculii) cvadrigemeni inferiori* se situează sub cei superiori. Sunt de dimensiuni mai reduse și au o formă ovală.

Structural, se compun din substanță cenușie dispusă în interior sub forma unui ganglion (central) și din substanță albă dispusă la exterior, alcătuind așa numitul strat zonal. La nivelul ganglionului sau nucleului coliculului inferior se termină o parte din fibrele auditive ale lemniscului lateral. Între cei doi coliculi se găsește comisura coliculiilor inferiori, cu fibre care îi unesc și fibre provenite din lemniscul lateral care se încrucișează la acest nivel.

De la coliculii inferiori se întind către corpii geniculați mediali brațele coliculiilor inferiori formate mai ales din fibre ale lemniscului lateral. Fibrele aferente ale coliculiilor inferiori vin în cea mai mare parte din lemniscul lateral. Mai primesc fibre și din ariile acustice ale scoarței temporale, care le controlează activitatea reflexă în funcție de excitațiile sonore.

Coliculii inferiori dau fibre eferente către corpul geniculat medial, tuberculul inferior opus, tuberculul superior (fibre acusticooptice), protuberanță (fibre tectopontine), bulb (fibre tectobulbare) și măduvă (fibre tectospinale).

Fibrele eferente ale tractului merg mai puțin spre centrii superiori (fibre tectohabenulare, tectotalamice și tectocorticale), deoarece majoritatea lor formează tracturi descendente (tractul tectobulbar, tectospinal, tectonuclear, tectorubric, tectonigral, tectocerebelos, tectopontin și tectoreticulat).

Fibrele tractului tectobulbar și tectospinal pleacă mai cu seamă din coliculii superiori, trec printre nucleul roșu și fasciculul longitudinal medial, după care posterior de decusația lui Forel se încrucișează formând decusația posterioară a tegmentului (Meynert). Merg apoi anterior de fasciculul longitudinal spre bulb și măduvă. Aceste tracturi inervează nucleii motori ai globului ocular și alți nucleii



ai nervilor cranieni, precum și motoneuronii coarnelor anterioare ale măduvei. Ele formează cea mai importantă cale a reflexelor optoacustice. Cu ajutorul fibrelor destinate nucleului facialului se realizează reflexul de clipire. Mișcările capului se realizează prin intermediul fibrelor care ajung la nucleul accesoriului, iar mișcările reflexe ale trunchiului și membrelor sunt coordonate prin fibrele care merg la măduvă. Toate acestea au ca punct de plecare excitațiile optice și acustice.

Tractul tectonuclear conduce impulsurile la nucleii motori ai globului ocular. Acesta dirijează mișcările reflexe la excitațiile optoacustice izolate sau în același timp cu acelea ale capului și trunchiului.

Funcțional, tuberculii cvadrigemeni inferiori se leagă de realizarea reflexelor motorii necondiționate la stimulii acustici și a reflexului de orientare, care precedă și facilitează percepția auditivă.

Privite în ansamblu, formațiunile mezencefalice îndeplinesc funcții foarte importante în distribuția normală a tonusului muscular, în realizarea reflexelor de redresare și a reflexelor de orientare.

## SINDROAME CLINICE PRODUSE DE LEZIUNI ALE TRUNCHIULUI CEREBRAL

Măduva spinării se continuă rostral cu trunchiul cerebral a cărui limită superioară este dată de diencefal. (Fig. 35).

Nici o altă regiune din sistemul nervos central nu posedă o densitate atât de mare de structuri vitale. Înghesuite într-un volum mic, structurile trunchiului cerebral sunt constituite din nucleii nervilor cranieni și fibrele acestora, din tracturile senzoriale lungi ascendente, care urcă de la măduvă până la talamus și cortex și din căile motorii descendente corticale și ale nucleilor subcorticali destinate trunchiului cerebral și măduvei spinării. În plus, în trunchiul cerebral găsim și formațiunea reticulată, cu centrii autonomi, care controlează respirația, presiunea sanguină, funcțiile gastrointestinale și nucleii care mediază trezirea și starea de vigilență (atenție).

În fine, trunchiul cerebral încnjoară îngustul pasaj al lichidului cerebrospinal format din apeductul lui Sylvius, susceptibil a fi ocluzionat de leziuni mici, dar cu rezultate dezastruase.

Pentru localizarea leziunilor din interiorul trunchiului cerebral, este util să delimităm structurile amintite atât în plan longitudinal, cât și în plan orizontal.

În plan longitudinal ariile trunchiului cerebral îndreptate în direcția hemisferelor cerebrale sunt numite superioare sau rostrale, iar cele care duc spre

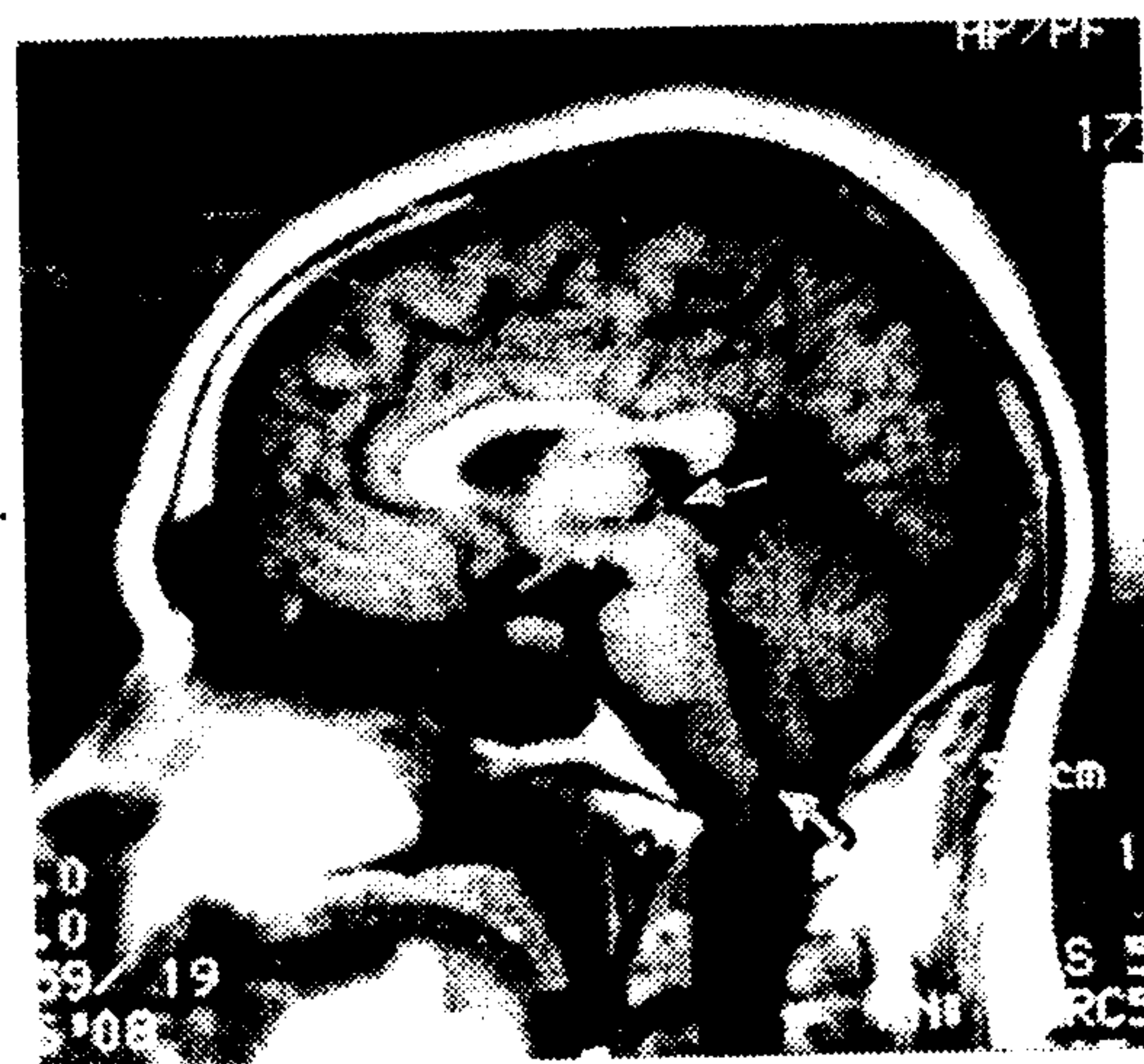


Fig. 35. RMN relevă formațiunile normale ale trunchiului cerebral precum și delimitarea acestuia.

măduvă poartă numele de arii inferioare sau caudale. În secțiune orizontală structurile cele mai de jos sunt numite ventrale, iar cele mai de sus sunt numite dorsale sau tegmentale.

Ca și în cazul măduvei spinării, este dificil să determinăm dacă o leziune se află în afara trunchiului cerebral sau în interiorul lui.

Astfel, leziunile care afectează direct țesutul trunchiului cerebral sunt numite intra-axiale sau parenchimale, iar cele situate în afara trunchiului cerebral, ce țin de dură sau de nervii cranieni, sunt numite extraaxiale.

Din cauza dispoziției anatomice, leziunile unilaterale ale trunchiului cerebral tind să provoace sindroame alterne, în care unele semne sunt ipsilaterale, iar altele contralaterale leziunii. Leziunile extraaxiale afectează numai un grup specific de nervi cranieni, dar tumorile extra-axiale compromit prin compresie și tracturile ascendente și descendente ale trunchiului cerebral, făcând dificilă, pe plan clinic, deosebirea leziunilor extra-axiale de cele intra-axiale. Un exemplu comun de leziune extra-axială este neurinomul de acustic (Dănăilă, 1994) (fig. 36).

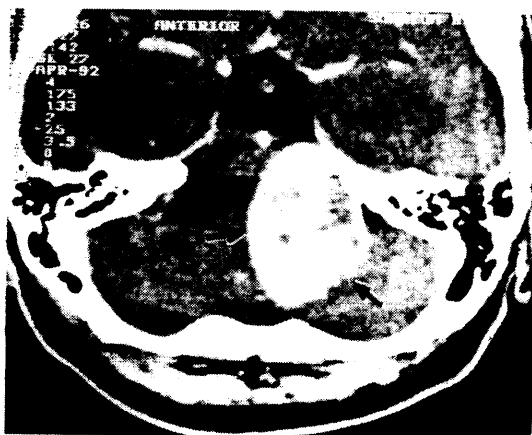


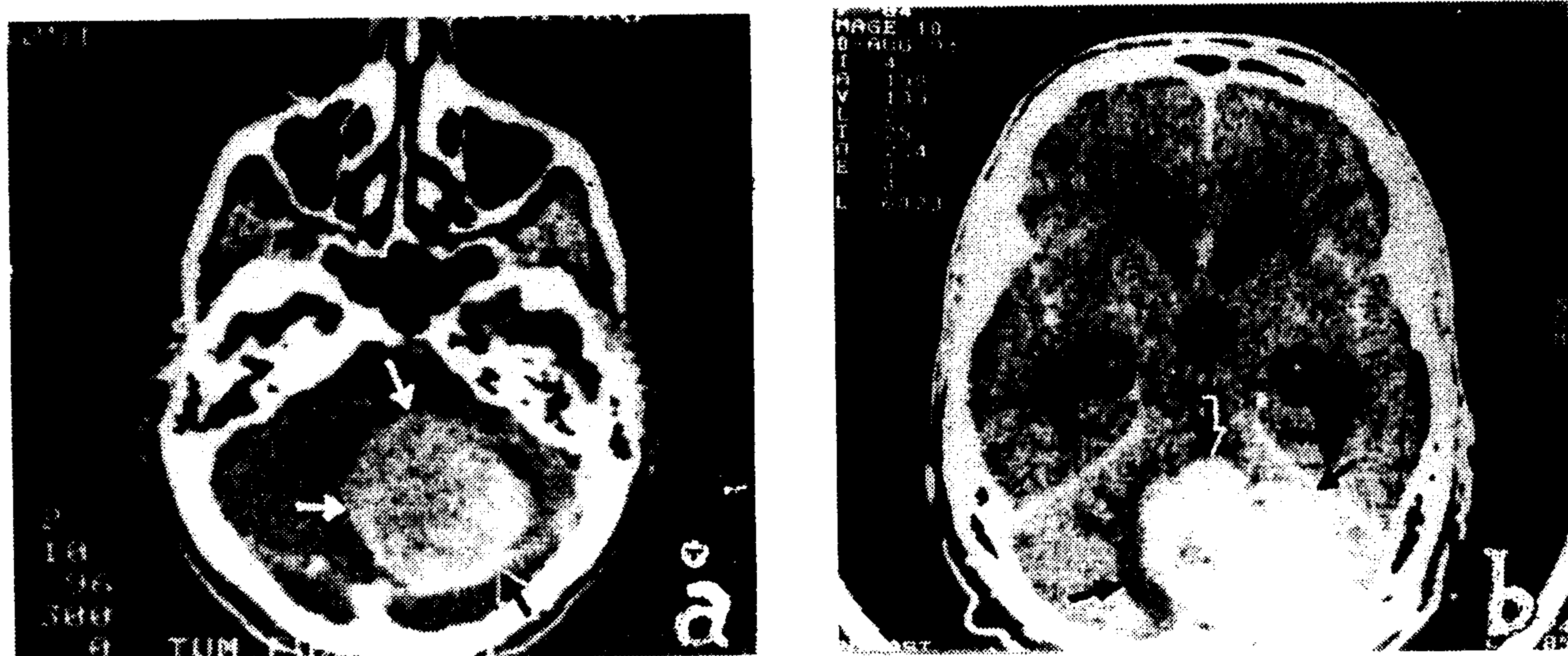
Fig. 36. TC relevă prezența unui neurinom de acustic gigant care comprimă și trunchiul cerebral.

Această tumoră extra-axială se dezvoltă din celulele Schwan ale nervului acustic (VIII). Mai întâi, neurinomul de acustic afectează nervul cohlear, după care se dezvoltă în unghiul pontocerebelos comprimând trunchiul cerebral, nervii cranieni din jur și cerebelul. Ca simptome găsim: pierderea auzului, diminuarea reflexului cornean prin afectarea fibrelor aferente ale nervului trigemen, pareză facială periferică, ataxie și tremor intențional determinat de comprimarea hemisferului cerebelos și nistagmus. Comprimarea trunchiului cerebral apare în ultimă instanță, dând semne de tract corticospinal și îngustarea ape-

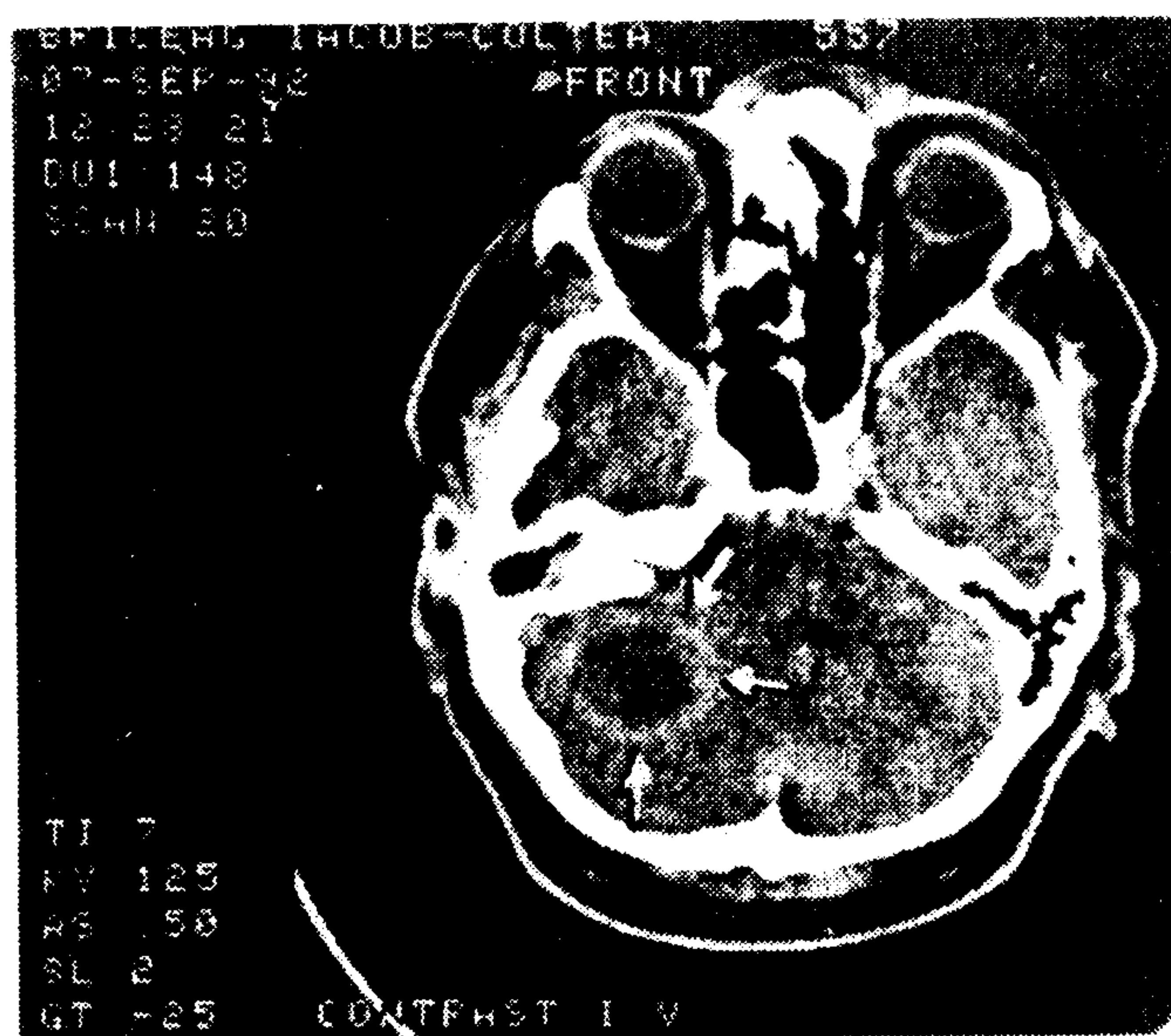
ductului, ce duce la dezvoltarea hidrocefaliei și la apariția simptomelor de creștere a presiunii intracraniene. Și alte procese expansive mari de fosă craniană posterioară pot duce la apariția simptomelor de trunchi cerebral, fie prin comprimare, fie prin infiltrare secundară a acestuia. Printre acestea cităm: meningioamele (fig. 37), abcesele cerebeloase (fig. 38), astrocitoamele (fig. 39), ependimoamele de ventricul patru (fig. 40), hemangioblastoamele (fig. 41) etc.

Leziunile intra-axiale ale trunchiului cerebral duc la apariția unor sindroame caracteristice.





**Fig. 37 (a+b).** TC relevă prezența a două meningioame foarte mari de fosă posterioară care comprimau și trunchiul cerebral.



**Fig. 38.** TC pune în evidență prezența unui abces cerebelos drept apărut în urma unei otite medii supurate.

Reperete principale pe care trebuie să le avem în vedere pentru stabilirea nivelului leziunii la unul din cele trei segmente ale trunchiului cerebral (bulb rahidian, protuberanță și pedunculi cerebrali) sunt următoarele:

- La nivelul bulbului, nervii motori IX, X, XI și XII, ramura oftalmică a trigemenului, reflexul velopalatin, faringian, de deglutiție (timpul II), de tuse și vomă și sindromul paleocerebelos homolateral.

Tot la acest nivel, paralizia de hipoglos și manifestările piramidale plasează leziunea în 1/3 sau 1/2 medială, ponderea simptomatologiei piramidale situează leziunea ventral în regiunea interolivară, iar prezența simptomatologiei senzitive profunde și cerebeloase situează leziunea dorsal în regiunea retroolivară (fig. 42).

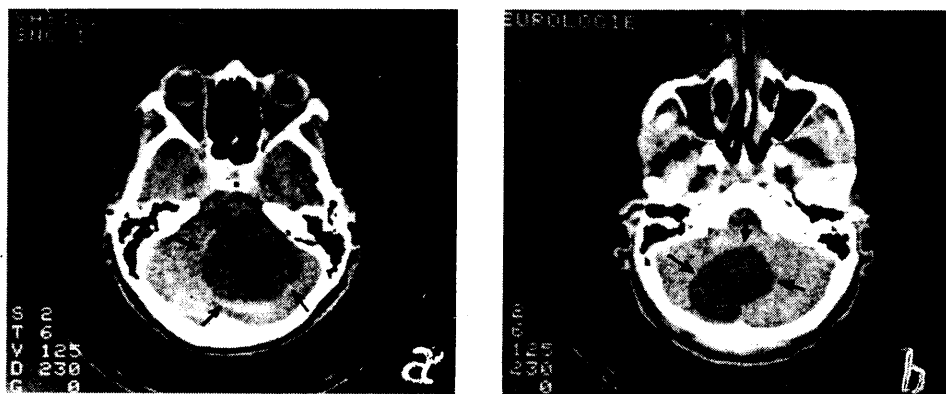


Fig. 39 (a+b). TC relevă două astrocitoame chistice mari care prin compresiune au dus și la apariția unor simptome de trunchi cerebral.

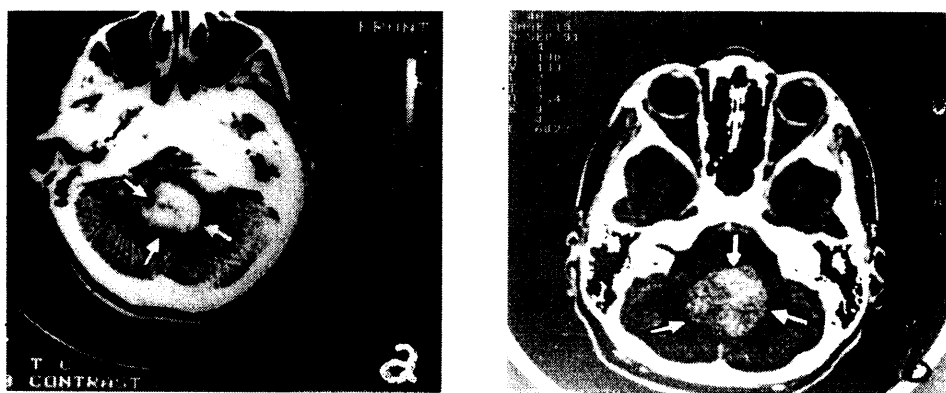


Fig. 40 (a+b). TC pune în evidență prezența unui ependimom de ventricul patru care infiltrază secundar și trunchiul cerebral (a); La un alt bolnav TC a relevat prezența unui tumori de ventricul patru care histopatologic s-a dovedit a fi un meduloblastom (b).

- La nivelul punții, nervii motori V, VI și VII, ramura senzitivă mandibulară a trigemenului, ramura maxilară situată la limita dintre bulb și punte, reflexul cornean conjunctival, maseterin, corneomandibular, lacrimal, nazo-palpebral, supraorbital, nazal, audio-palpebral și audio-oculogir, paraliziile de orizontalitate homolaterală a globilor oculari, rar cele de orizontalitate contralaterală și sindromul neocerebelos homolateral.



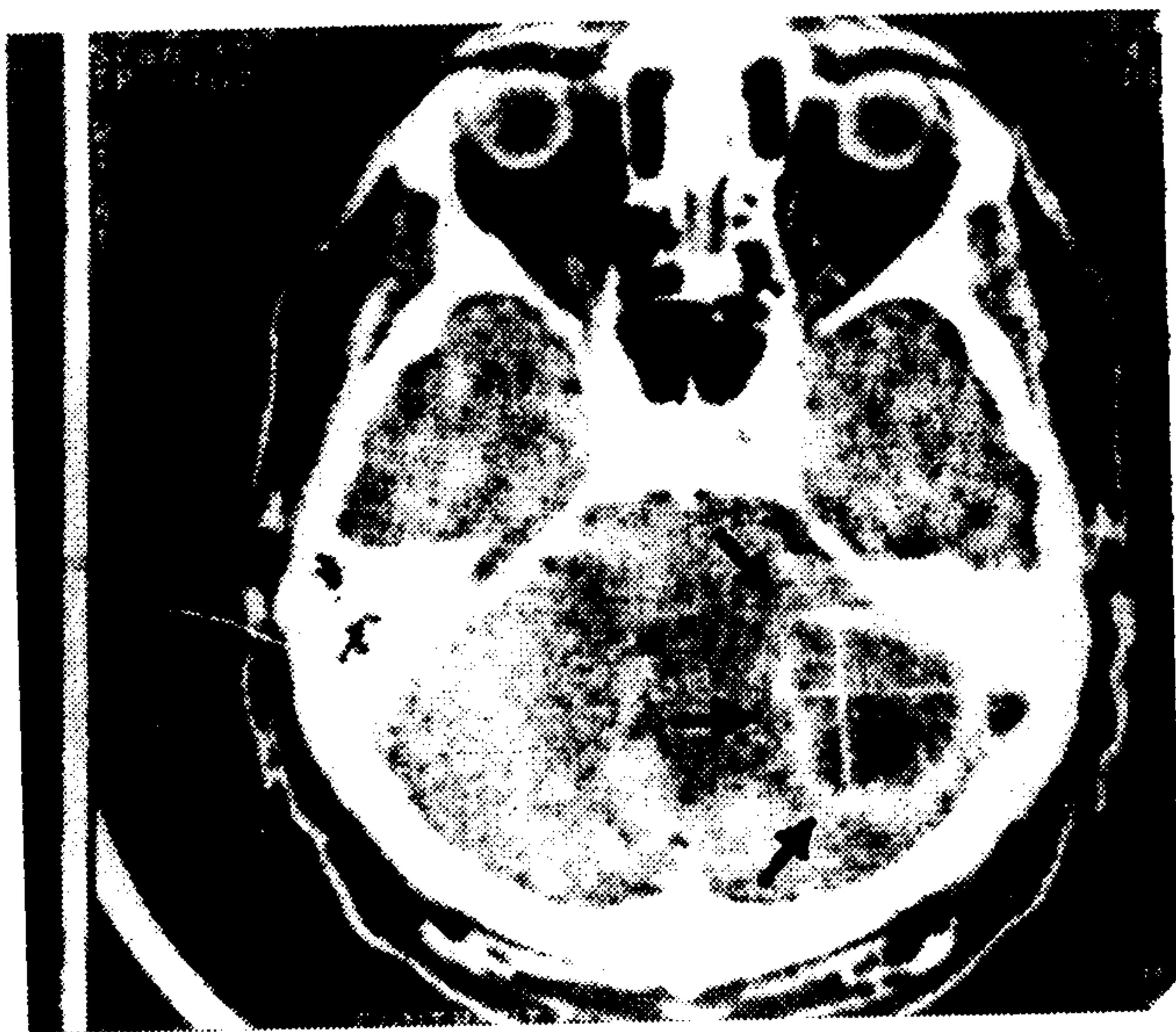


Fig. 41. TC relevă prezența unei mari tumori de unghi pontocerebelos stâng care histopatologic s-a dovedit a fi un hemangioblastom.

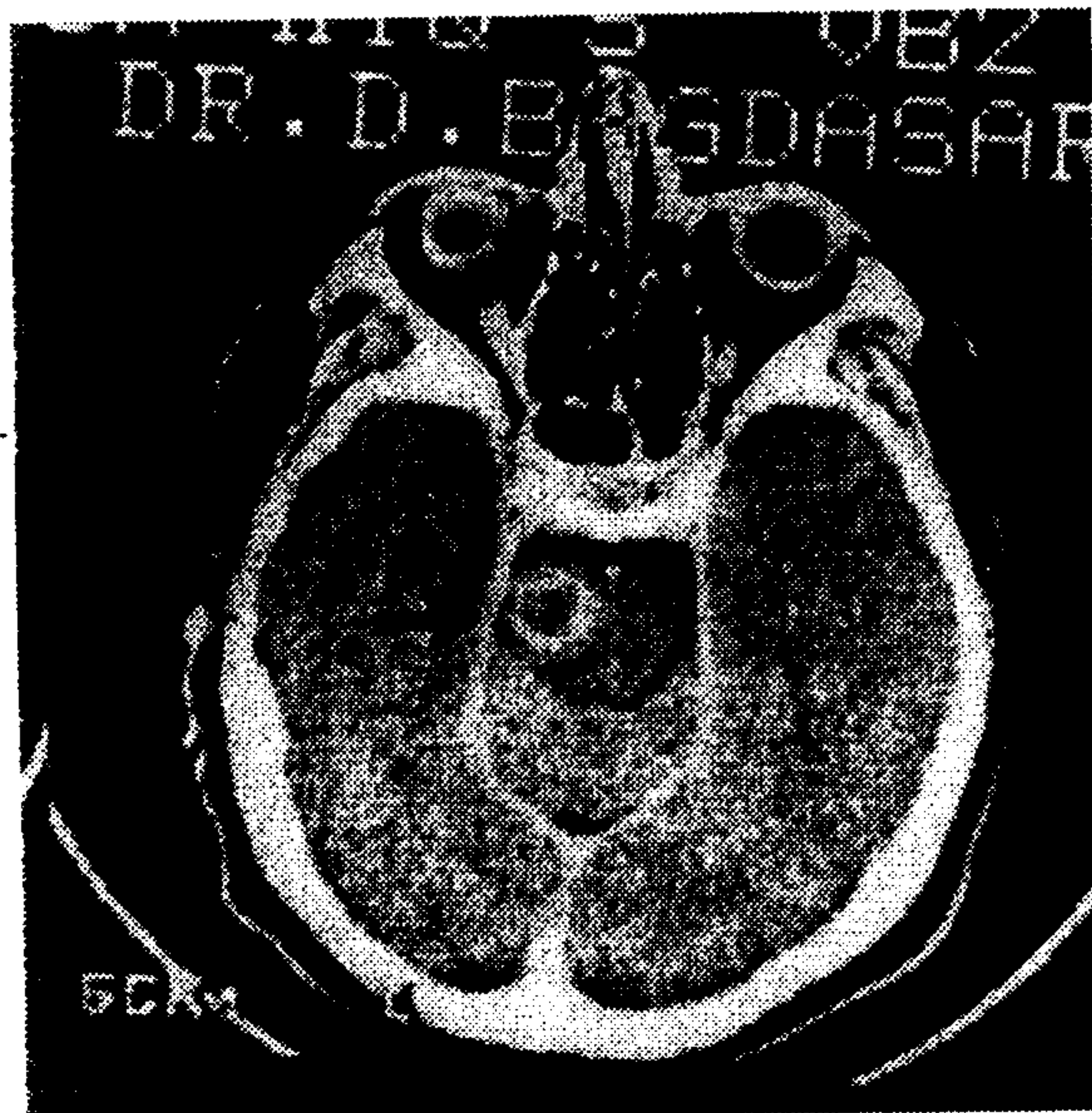


Fig. 42. TC relevă prezența unei tumori chistice bulbo-pontine care operator și histopatologic s-a dovedit a fi un cavernom.

Paraliziile de abducens și tulburările de sensibilitate profundă situează leziunea în 1/2 medială a punții, ponderea simptomatologiei piramidale plasează leziunea ventral, iar predominarea simptomatologiei senzitive sau cerebeloase situează leziunea dorsal în calota pontină.

Tulburările de sensibilitate trigeminală situează leziunea în 1/3 intermediară, pe dimensiunea dorso-ventrală la nivelul punții și al bulbului (Fig. 43 și 44).

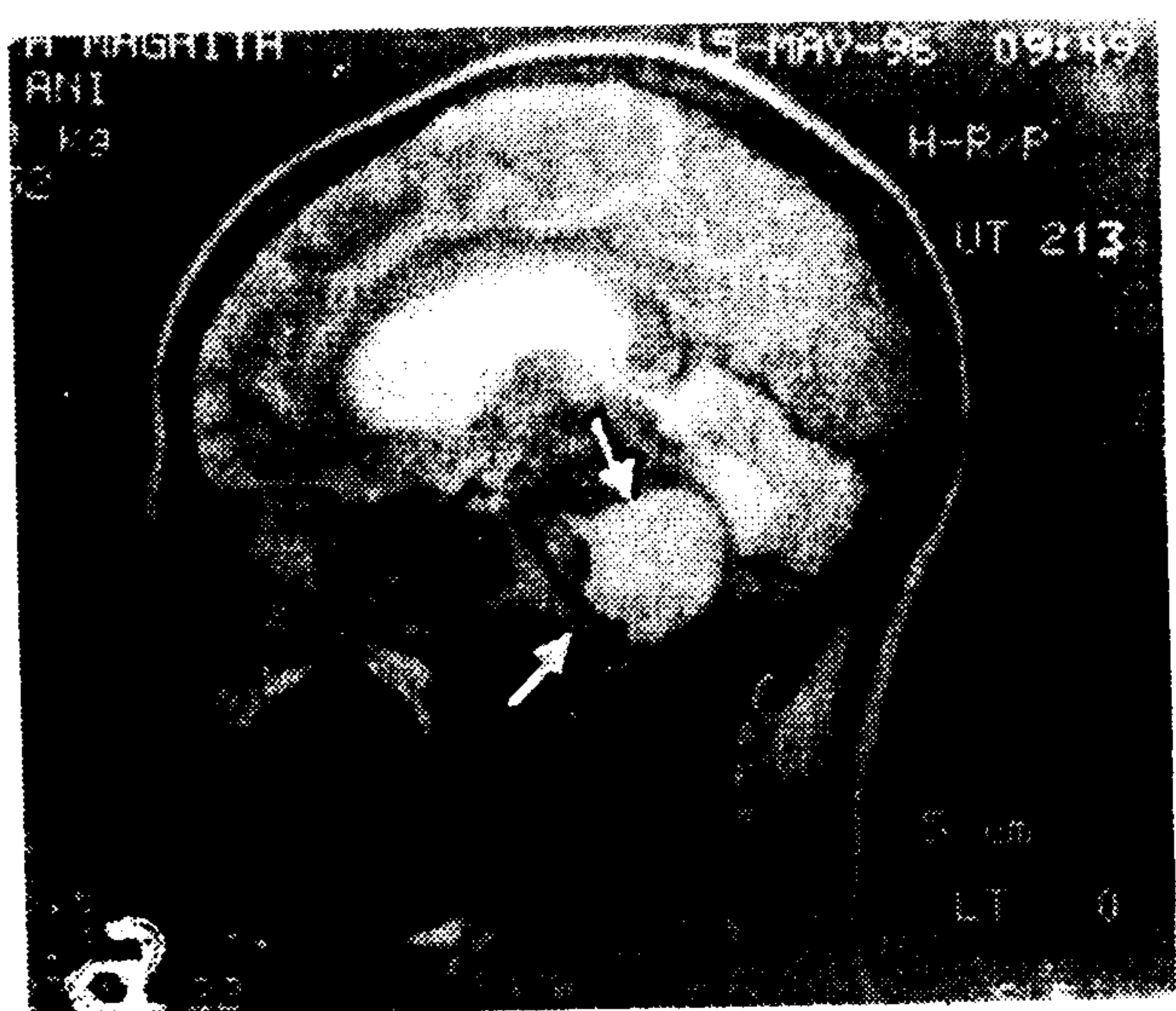


Fig. 43 (a+b). RMN relevă prezența unei mari tumori pontine (a) care comprimă și ventriculul patru (b).



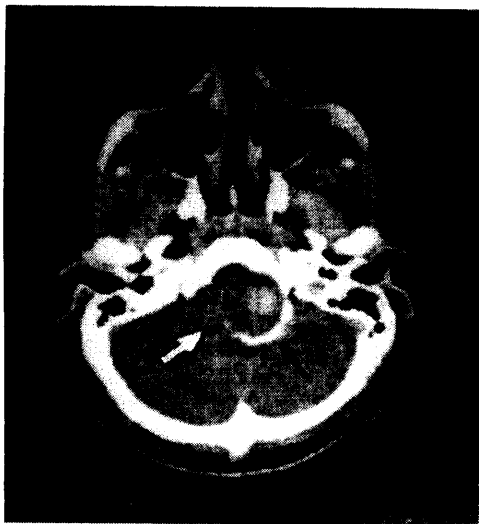


Fig. 44. TC relevă prezența unei tumori pontine dezvoltată predominant în partea stângă.

*Adesea leziunile extraaxiale ale trunchiului cerebral dau paralizii de privire și oftalmoplegie internucleară.*

Paraliziile privirii sau paralizia mișcărilor conjugate ale ambilor ochi pot fi date de leziuni diferite ale trunchiului cerebral.

Pentru lămurirea problemei este util să amintim relațiile dintre cei doi centri corticali (frontal și occipital), care controlează mișcările globilor oculari și centrii pontini.

Descărcările electrice sau stimularea electrică unilaterală a câmpurilor oculare frontal și occipital duc la apariția mișcărilor conjugate ale ambilor ochi către partea opusă. Acestea poartă numele de mișcări oculare adverse. Invers, distrugerea ariei corticale frontale duce la imposibilitatea dirijării privirii către partea

opusă leziunii. În astfel de cazuri caracteristică este mișcarea conjugată a ochilor către leziune (ochii privesc leziunea frontală distructivă).

Fibrele care coboară din câmpul ocular cortical se încrucișează cu cele de partea opusă, la nivelul formațiunii reticulate pontine, în apropierea nucleului oculomotorului extern (VI).

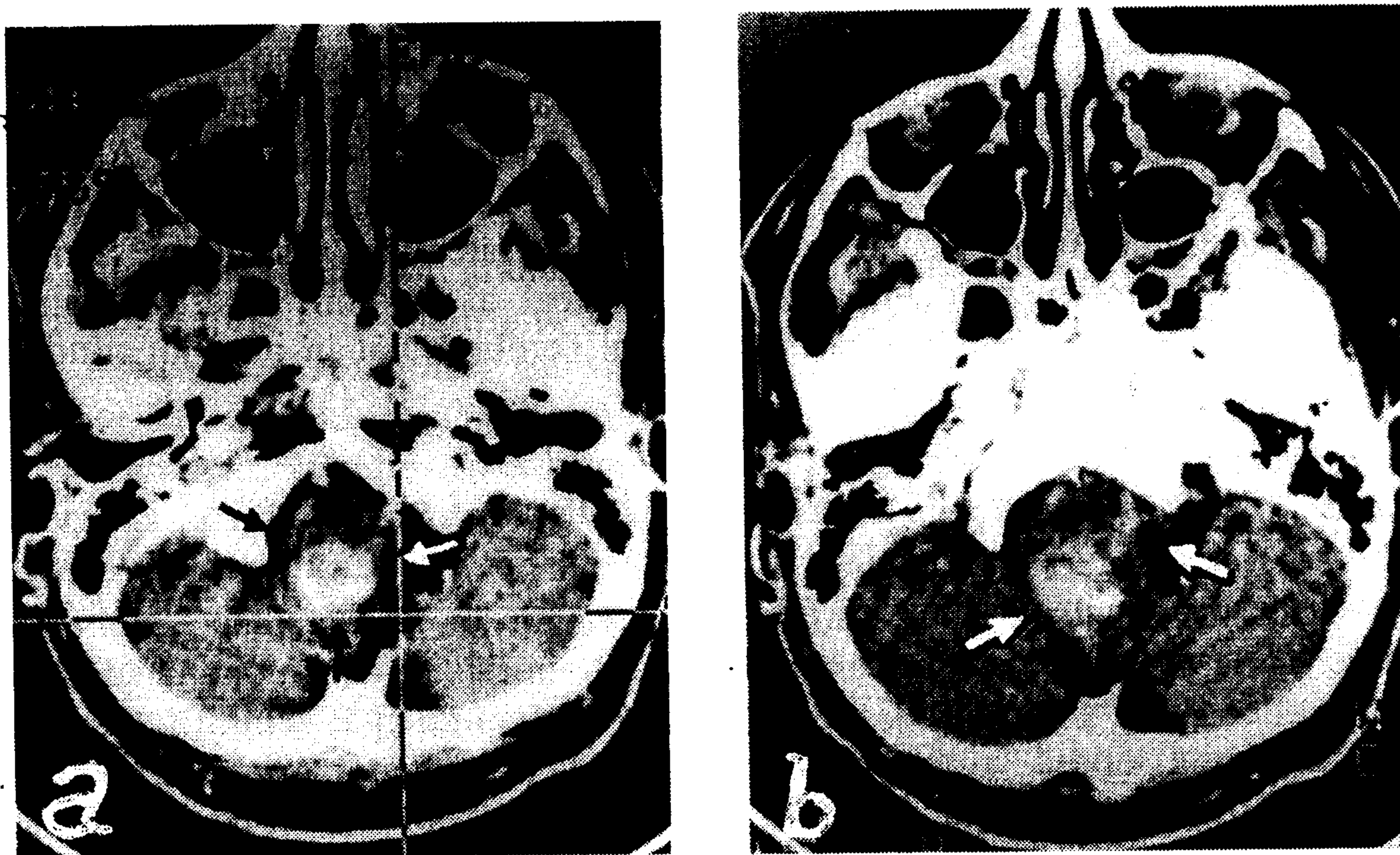
Lezarea centrului pontin al privirii afectează privirea către partea leziunii. Astfel, leziunile distructive pontine drepte fac imposibilă mișcarea ochilor către dreapta, ochii având tendința de a se deplasa către stânga. Dacă leziunea distructivă dreaptă se află deasupra decusației fibrelor descendente, ea dă hemiplegie stângă prin afectarea fibrelor corticospinale și devierea ochilor de partea hemiplegică (ochii privesc hemiplegia).

*Oftalmoplegia internucleară sau sindromul fascicului longitudinal median.*

Privirea către dreapta impune coordonarea activității mușchiului ocular drept extern din partea dreaptă (inervat de nervul VI) cu cel al mușchiului drept medial (intern) din partea stângă (inervat de nervul III). Integrarea depinde de funcționarea centrului pontin al privirii (sau formațiunea reticulată pontină paramediană). Această structură trimite fibre la nucleul ipsilateral și la nucleul oculomotor contralateral. Fibrele sale se alătură celor vestibulare și altor fibre ale fascicului longitudinal medial (fig. 45).

Lezarea fascicului longitudinal medial duce la apariția unei combinații caracteristice de semne denumită oftalmoplegie internucleară (Rowland, 1991). Cea mai comună cauză a oftalmoplegiei internucleare este scleroza multiplă și ocluzia arterei bazilare sau a ramurilor paramediane ale acesteia. Când leziunea este unilaterală, adducția ochiului de partea respectivă este paretică sau paralizată.





**Fig. 45 (a+b).** TC relevă prezența unei mari tumori infiltrative pontine cu dezvoltare și extraaxială. Tumora a dus la apariția somnolenței, a oftalmoplegiei internucleare și a hidrocefaliei.

Leziunile din interiorul fascicului longitudinal medial -opus celor din formațiunea reticulată pontină, paramediană- sunt denumite după mușchiul drept (rectus) medial afectat.

Natura supranucleară a adducției afectate poate fi dedusă din păstrarea funcției dreptului intern la răspunsul reflex de convergență în vederea de aproape. În oftalmoplegia internucleară și când pacientul încetează să privească partea respectivă, în abducția ochiului, apare adesea nistagmus

Abducția nistagmică se caracterizează printr-o mișcare lentă medială (componenta oculară adducțională) urmată de sacade abductive corective (mișcări rapide laterale). Fiziopatologia acestora nu este cunoscută. În rezumat, ochiul abduct face o mișcare rapidă pentru a refixa privirea pe ținta plasată lateral, fapt care creează aspectul de nistagmus.

### **Sindroame vasculare caracteristice.**

Bulbul este vascularizat de ramurile arterei vertebrale și de cele ale arterei cerebeloase postero-inferioare.

Artera bazilară produce trei seturi de ramuri: 1) ramuri paramediane, care vascularizează structurile pontine de linie mediană; 2) ramuri circumferențiale scurte, care vascularizează aspectul lateral al punții și pedunculii cerebeloși mijlocii și superiori; 3) artere circumferențiale lungi și arterele cerebeloase superioare, ce vascularizează porțiunea laterală a trunchiului cerebral și hemisferele cerebeloase.

Ocluzionarea unui ram al arterei bazilare duce la apariția unui sindrom caracteristic. Adesea, ocluzia arterei vertebrale sau bazilare dă naștere unor leziuni extensive uni - sau bilaterale. Leziunile bilaterale dau semne care depășesc sindroamele caracteristice determinate de ocluzia unui singur ram. În clinică, ocluziile duc adesea la apariția unei mixturi de sindroame individuale. Astfel, în porțiunea de sub mezencefal, lezarea tractusurilor ascendente și descendente dă semne clinice, care indică localizarea medială sau laterală a distrucției. Semnele specifice nervilor cranieni delimitează nivelul real al leziunii. Aceste semne și simptome localizează, deci, leziunea de trunchi cerebral atât în plan longitudinal, cât și în plan orizontal.

### **Sindroamele mediale ale bulbului și punții**

Leziunile mediale apar după ocluzia ramurilor paramediane ale arterei bazilare. O leziune medială unilaterală bulbară superioară sau pontină afectează tractul corticospinal și lemniscul medial. Drept consecință apar semne corespunzătoare de partea opusă a corpului manifestate prin hemipareză și pierderea sensibilității vibratorii și de poziție. Tractul spinotalamic și deci sensibilitatea cutantă rămân intacte.

Diferențierea sindromului medial bulbar de cel pontin este dată de nervii cranieni afectați. În sindromul medial bulbar afectarea fibrelor emergente ale hipotalamusului (nervul XII) produce atrofie linguală ipsilaterală.

În sindromul medial pontin, afectarea nucleului nervului abducens (leziune rostrală extinsă dorsal) sau a fibrelor emergente ale nervului, duce la paralizia mușchiului drept extern (Rowland, 1991). Când leziunea implică legăturile vestibulare și cerebeloase ale acestuia sau fasciculul longitudinal medial, apare nistagmusul.

### **Sindroame laterale ale bulbului și punții**

Leziunile laterale apar după ocluzia arterei cerebeloase postero inferioare sau a arterei cerebeloase antero-inferioare. Rar, acestea au etiologie traumatică, tumorală sau hemoragică. Leziunile laterale afectează tractul spinotalamic, fibrele autonome descendente, nucleul sau tractul senzorial descendent al trigemenului, nucleii vestibulari și conexiunile cerebeloase.

Toate leziunile laterale duc la apariția următoarelor șase manifestări ce pot apărea împreună sau în diferite combinații (Rowland, 1991).

1) Pierdere de partea contralaterală a trunchiului și a membrelor a sensibilității termice și dureroase datorită lezării tractului spinotalamic.

2) Apariția sindromului Horner ipsilateral cu mioză și reacție normală la lumină, ptoză palpebrală și diminuarea transpirației de partea ipsilaterală a feței, datorită întreruperii fibrelor autonome descendente;

3) Pierdere ipsilaterală a sensibilității cutanate a feței prin implicarea nucleului senzorial al trigemenului sau a tractului său descendent;



4) Nistagmus și greață atribuite atingerii conexiunilor vestibulare;

5) Ataxia membrelor ipsilaterale datorită întreruperii conexiunilor cerebeloase (atingerea corpului restiform bulbar și a pedunculilor superior și mijlociu din punte).

6) Sughiț (din rațiuni necunoscute).

Leziunile laterale nu dau hemipareză și nici pierderea sensibilității proprioceptive.

Implicarea nervilor cranieni duce la stabilirea locului real al leziunii în trunchiul cerebral și la apariția unor sindroame caracteristice.

**Sindromul Wallenberg** sau sindromul bulbar retroolivar este dat de infarctele care apar în teritoriul de distribuție al arterei cerebeloase posteroinferioare sau al arterei laterale a bulbului. Aria lezată include porțiunea dorsală din partea laterală a bulbului. Clinic, se caracterizează prin apariția de partea leziunii a paraliziei laringo-velo-palatino-faringiene (afectarea nucleului ambiguu), a hemianesteziei feței cu abolirea reflexului corneean (afectarea rădăcinii și nucleului descendent al trigemenului), a sindromului Claude Bernard-Horner caracterizat prin mioză, exoftalmie, diminuarea fantei palpebrale (lezarea fibrelor vegetative din substanța reticulată) și a hemisindromului cerebelos (lezarea pedunculului cerebelos inferior).

Afectarea glosofaringianului (IX) și vagului (X) dă disfagie și răgușeală din cauza paraliziei corzii vocale ipsilaterale și a pierderii reflexului faringian ipsilateral. Și nucleul solitar poate fi distrus, fapt care duce la pierderea gustului în jumătatea ipsilaterală a limbii.

De partea opusă găsim hemianestezie termo-algică (lezarea fasciculului lateral al bulbului) și hemipareză pasageră (afectarea prin edem a fasciculului piramidal).

**Sindromul altern preolivar** apare după tromboza arterei paramediane. El se caracterizează prin paralizie ipsilaterală de hipoglos (hemiatrofie linguală cu contracții fibrilare) și prin hemiplegie contralaterală, care uneori se asociază cu hemianestezie profundă.

**Sindromul interolivar** sau paramedian constă din paralizia homolaterală a hipoglosului cu hemiplegie și hemianestezie profundă de partea opusă leziunii.

**Sindromul Babinski-Nageotte** de hemibulb realizează o simptomatologie asociată sindromului laterobulbar și interolivar.

**Sindromul Avellis** constă din paralizia vălului palatin și a corzii vocale de partea leziunii prin afectarea nucleului ambigu și a spinalului intern.

**Sindromul Schmidt** este format din sindromul Avellis, la care se adaugă paralizia ramurii externe a spinalului (paralizia trapezului și a sterno-cleido-mastoidianului).

**Sindromul Cestan-Chenais** este caracterizat prin asocierea sindromului Avellis cu sindromul Babinski-Nageotte.

**Sindromul Jackson** constă dintr-un sindrom Schmidt completat cu paralizia ipsilaterală a limbii prin prinderea și a nucleului hipoglos.

**Sindromul nucleului lui Deiters** sau sindromul lui Bonnier este caracterizat prin amețeală, tulburări de echilibru, tulburări auditive trecătoare, greață, anxietate și durere în teritoriul trigemenului. Acest sindrom nu este altern. Paralizia nervilor bulbari de origine centrală realizează sindromul pseudobulbar prin lezarea

bilaterală a fasciculului geniculat (cortico-nuclear). În sindromul pseudobulbar lipsesc atrofiile, fibrilațiile musculare și recția de degenerescență electrică, în schimb reflexele maseterin, palmo-mentonier și bucal sunt exagerate. Tulburările psihice cu râs și plâns spasmodic sunt caracteristice.

### Sindroamele protuberanțiale

La nivelul protuberanței se constituie o serie de sindroame care diferă după localizarea leziunii în calotă sau în picior și după factorii etiologici: accidente vasculare, procese tumorale, infecții.

**Sindromul lateral al punții inferioare** rezultă din ocluzia arterei cerebeloase antero-inferioare. El include cele șase manifestări ale sindromului Wallenberg (paralizia de glosofaringian și vag, sindromul Horner, hemisindromul cerebelos și hemianestezia feței, toate ipsilaterale, iar de partea opusă o hemianestezie de tip siringomielitic), la care se adaugă încă trei semne specifice rezultate din lezarea nucleilor facialului (VII) și auditivului (VIII) (paralizia facială ipsilaterală de tip periferic, surditate, tinitus și paralizia ipsilaterală a privirii determinată de extinderea medială a leziunii cu afectarea centrului pontin al privirii) (fig. 46).

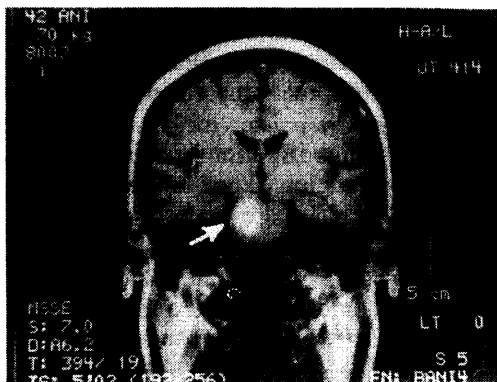


Fig. 46. RMN relevă prezența unei tumori situată în jumătatea dreaptă a bulbului și punții care a dus la apariția unui sindrom lateral al punții inferioare.

Lezarea punții medii apare după ocluzia arterelor circumferențiale scurte. Ea dă un sindrom identic cu cel lateral de punte inferioară, excepție făcând păstrarea intactă a nervilor VII și VIII. În schimb este afectată funcția trigemenului motor (fig. 47).

Leziunile bilaterale cauzează dificultăți de mestecare, în timp ce leziunile unilaterale dau deviații ale maxilarului către partea leziunii, atunci când gura este deschisă. Leziunile laterale ale punții superioare se datorează ocluziei arterei cerebeloase superioare și nu au nici un semn specific de nerv cranian.

Prin urmare, paralizia facială și pierderea auzului apar în leziunile pontine laterale și inferioare. Afectarea funcției trigeminale se produce numai în leziunile mediopontine. Leziunile pontine superioare nu afectează nici unul din acești nervi cranieni.

**Sindromul Millard-Gubler** (protuberanțial inferior) este caracterizat prin hemiplegie de partea opusă leziunii cu paralizie facială de tip periferic de aceeași parte asociată uneori cu deficit de nerv oculomotor extern (strabism intern).



**Sindromul Grenet** este caracterizat prin anestezie facială ipsilaterală și anestezie termoalgică contralaterală, la care se pot adăuga ataxie și tremurătură intențională ipsilaterală prin lezarea pedunculului cerebelos superior înainte de încrucișare.

**Sindromul Brissaud-Sicard** constă din hemispasm facial homolateral și hemiplegie heterolaterală.

**Sindromul arterei cerebeloase antero-superioare** este caracterizat prin hemisindrom cerebelos, sindrom Claude Bernard-Horner și eventual mioclonii toate ipsilateral, iar contralateral hipoestezie termoalgică.

La aceste simptome se poate adăuga un oarecare grad de hipoacuzie prin interesarea tuberculilor cvadrigemeni posteriori.

**Hemipareză cerebeloasă Marie-Foix** se compune dintr-un hemisindrom cerebelos ipsilateral asociat uneori cu hemipareză contralaterală și cu hemihipoestezie disociată siringomielic.

**Sindromul protuberanțial superior Raymond-Cestan** este constituit din hemipareză cu mișcări coreo-atetozice, asociate uneori cu fenomene ataxice și dizartrie cerebeloasă de partea opusă leziunii, hemianestezie alternă și devierea globilor oculari spre partea paraliziei.

**Sindromul Fowille protuberanțial superior** este format din hemiplegie contralaterală și paralizia mișcărilor de lateralitate a globilor oculari spre partea sănătoasă.

**Sindromul Fowille protuberanțial inferior** cuprinde pe lângă simptomele sindromului Millard-Gubler și paralizia mișcărilor globilor oculari spre lateral, ochii privind partea hemiplegică. Hemiplegia protuberanțială poate apărea în leziuni paramediane și fără asocierea acesteia cu paralizii de nervi cranieni.

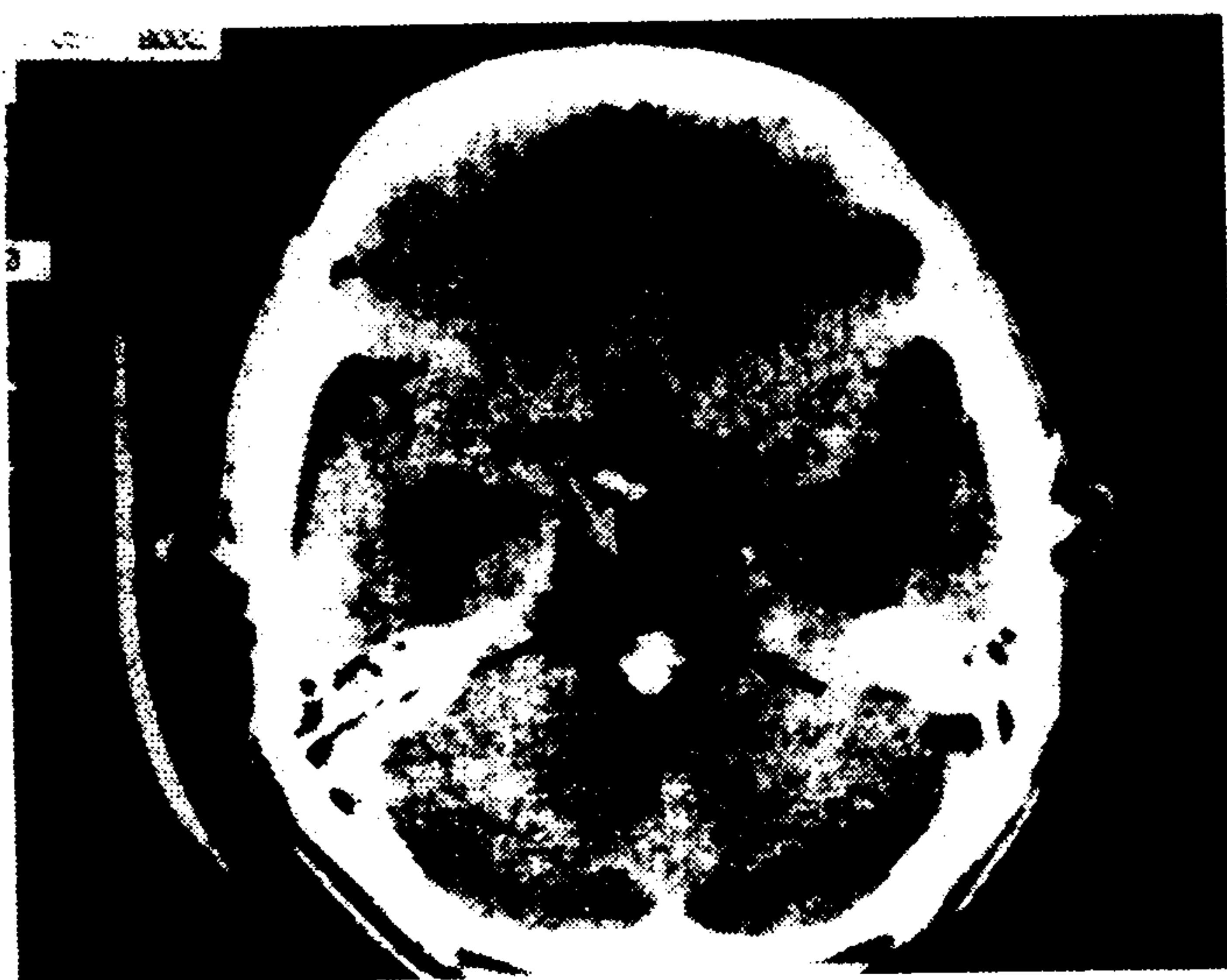
În cazul trombozei de bazilară, ramolismențele bilaterale ale piciorului protuberanței provoacă, după întinderea leziunii, paraplegie sau tetraplegie.

Miocloniile laringo-faringo-velopalatine se datorează lezării fasciculului central al calotei.

Sindromul pseudobulbar pontin cu tetra sau parapareză apare în urma constituirii unor ramolismențe pontine multiple.

Mioza bilaterală poate indica uneori o leziune la nivelul calotei protuberanțiale.

În cazul tumorilor, hemoragiilor și al altor procese patologice hemisferice pot apărea leziuni protuberanțiale la distanță manifestate prin hemoragii secundare și prin simptome extrem de variabile.



**Fig. 47.** TC relevă prezența unei tumori chistice pontine medio-dorsală care clinic s-a manifestat printr-un sindrom medio-pontin. Examenul histopatologic a evidențiat un astrocitom.

## Sindroame mezencefalice

Anatomia clinică a mezencefalului este mai puțin complicată decât cea a bulbului și a punții. Totuși, leziunile acestei mici arii nervoase realizează câteva sindroame recunoscute.

Sindromul Weber se manifestă prin paralizia nervului oculomotor (III) rezultată din lezarea fibrelor emergente ale acestui nerv și prin hemiplegie contralaterală, inclusiv paralizie facială supranucleară date de afectarea tractusurilor corticospinal și corticobulbar.

**Sindromul tegmental central** constă din paralizie de nerv oculomotor dată de lezarea nucleului sau a fibrelor emergente, la care se adaugă tremur sau mișcări involuntare la membrele de partea opusă. Această condiție numită hemicoree este atribuită lezării nucleului roșu. În plus, apare și hemianestezie contralaterală, ce interesează atât sensibilitatea cutanată transmisă prin tractul spinotalamic, cât și cea proprioceptivă transmisă prin lemniscul medial. În cazul leziunilor limitate, tractul corticospinal este cruțat.

**Sindromul Benedikt** se compune din paralizie ipsilaterală de nerv oculomotor (III) și din mișcări involuntare (tremurătură, coreoatetoză) contralaterale.

**Sindromul Claude** se prezintă cu un sindrom neocerebelos contralateral cu paralizie ipsilaterală de nerv oculomotor (rareori și de patetic).

**Sindromul Fowille peduncular** constă dintr-un sindrom Weber asociat cu paralizia privirii laterale, bolnavul având ochii deviați spre partea sănătoasă.

**Sindromul anterior al nucleului roșu Foix** se prezintă ca un sindrom cerebelos de partea opusă leziunii asociat cu mișcări involuntare de tip coreoatetozic și tulburări de sensibilitate, fără afectarea nervului III.

**Sindromul nucleului roșu de tip inferior (Benedikt)** se caracterizează printr-un hemisindrom cerebelos de partea opusă leziunii, asociat cu paralizie de nerv III de aceeași parte cu leziunea.

**Sindromul Parinauld** constă din paralizia mișcării de verticalitate a globilor oculari, interesând motilitatea voluntară și automato-reflexă sau numai una din acestea. Sindromul Parinaud complet însoțit de paralizia convergenței și de areflexie pupilară se datorează leziunilor preteectale.

Sindromul Parinauld mezencefalic dorsal și colicular este cauzat, de obicei, de leziuni extra-axiale (pinealoame), care comprimă coliculii superiori și structurile preteectale.

Oftalmoplegiile internucleare bilaterale și unilaterale se produc prin lezarea bandetei longitudinale posterioare.

Oftalmoplegia internă anterioară se caracterizează prin pierderea convergenței cu paralizia dreptului intern. În oftalmoplegia posterioară convergența este păstrată.

În ambele tipuri se produce nistagmus monocular al globului ocular abduc. La început se pot asocia, tranzitoriu, și fenomene cerebeloase.

**Sindromul apeductului Kestenbaum** constă din sindrom Parinaud, nistagmus retractor, de convergență și vertical, anomalii pupilare, spasm de convergență și contracție patologică a pleoapei (semnul Collier).



**Sindromul lui Von Monakow** sau sindromul senzitiv al calotei se caracterizează prin paralizia ipsilaterală a nervului III și apariția de partea opusă a hemianesteziei și hemiparesteziilor.

**Sindromul locusului niger** se manifestă prin tulburări de tonus muscular.

**Sindromul locked-in** apare în cazul lezării bilaterale a punții ventrale prin ocluzia arterei bazilare. Aceasta duce la întreruperea bilaterală a tractusurilor corticobulbar și corticospinal (Bauer, 1979; Reznik, 1938). Ca rezultat, pacientul rămâne tetraplegic și mut, neputând face nici o mișcare facială. Starea respectivă s-ar putea asemăna cu coma, dar bolnavul este conștient și are ochii deschiși, putându-i mișca voluntar.

În această situație el poate comunica prin mișcarea pleoapelor și ochilor, deși este complet imobil sau locked-in.

## V. FORMAȚIA RETICULATĂ

### Caracteristici anatomice

Trunchiul cerebral este format din trei segmenta majore: bulb, punte și mezencefal, care conțin fibre motorii, fibre senzitive -somatice și viscerale- și nucleii nervilor cranieni. Printre tractusurile menționate și nucleii trunchiului cerebral, se află rețeaua celulelor formației reticulate.

Formația reticulată (FR) a trunchiului cerebral urcă superior până la diencefal (subtalamus, talamus, hipotalamus) și cortex, iar inferior coboară până la măduva spinării unde formează subsanța cenușie periependimară, (baza coarnelor anterioare, posterioare și laterale). Histologic, ea a fost descrisă în anul 1911 de către Cajal ca simplă substanță de sprijin.

Brodal (1943) deosebește nucleii celor două treimi mediale și nucleii treimii laterale. Autorul afirmă că nucleii regiunii mediale ar fi mai mult în legătură cu funcțiile efectorii.

Olszewski (1954) a descris 98 de nuclei reticulari și afirma că funcția acestora nu este bine cunoscută. Sager și colab. (1965) deosebesc cinci grupe nucleare: 1) nuclei cu conexiuni exclusiv cerebeloase (nucleul reticular bulbar lateral, nucleul reticular paramedian și nucleul reticular tegmental pontin-Bechterew); 2) nuclei mediali cu axon lung ascendent și descendent (nucleul bulbar giganto-celular, nucleul pontin caudal și nucleul pontin oral); 3) nucleii porțiunii laterale a formației reticulate, cu rol receptor și asociativ; 4) nucleii rafeului (comisura protoplasmatică a lui Cajal); 5) nucleii lui Nauta cu conexiuni rinencefalice.

După Scheibel și Scheibel (1957), un axon aparținând formației reticulate poate intra în contact cu 27.500 de neuroni. Această particularitate explică

posibilitatea acțiunii competitive, fenomenul de ocluzie și posibilitatea dispersării în orice direcție a impulsurilor din formația reticulată.

Prin urmare, formația reticulată alcătuită din nucleii și fibre este dispusă sub formă de rețea în afara grupelor nucleare ale trunchiului cerebral. Ea reprezintă prelungirea rostrală a rețelei interneuronale a măduvei spinării, care la nivelul bulbului, punții și mezencefalului este mult mai dezvoltată. Convențional această rețea este divizată în grupe nucleare dispuse de-a lungul axului medial și lateral. Pe linia medială se află nucleii rafeului adiacent cărora se află o regiune cu celule mari, iar lateral o regiune cu celule mici (Brodal, 1981).

Restul celulelor reticulate se distribuie difuz în toată porțiunea ventrolaterală a tegmentului. Ca și neuronii locusului ceruleus și axonii neuronilor tegmentului lateral dau colaterale extensive și arborizații ații terminale dense. Axonii acestora se duc la trei formațiuni majore:

1) la măduva spinării, 2) la trunchiul cerebral și 3) la talamus, cerebel și cortexul cerebral (Scheibel și Scheibel 1958). În general, țintele neuronilor regiunii tegmentale laterale se deosebesc complet de cele ale locusului ceruleus.

În general, FR a trunchiului cerebral trimite eferențe la: centrii trunchiului cerebral, pe calea fibrelor descendente scurte; centrii de control locomotor și autonomi medulari prin intermediul fibrelor reticulospinale; cerebel via fibrele reticulocerebeloase; talamus, subthalmus, hipotalamus, prin fasciculul medial al creierului anterior, fasciculul longitudinal medial și pedunculul mamilar, care pornesc din regiunea medială a tegmentului mezencefalic și se termină în corpii mamilari și hipotalamusul lateral; ariile senzoriomotorii și unele arii ale sistemului limbic pe o cale talamică indirectă.

Aferențele FR ale trunchiului cerebral vin de la: măduva spinării, pe calea fibrelor spinoreticulare și colateralele căilor ascendente lungi; nucleii nervilor cranieni odată cu fibrele colaterale primare și secundare; cerebel, cu fibrele cerebeloreticulare; căile acustică și vizuală, via fibrele tectoreticulare; nucleii talamici, subthalmici și hipotalamici; corpul striat, prin fibrele directe și încrucișate; sistemul limbic, cortexul senzoriomotor pe calea fibrelor corticoreticulare.

Aferențele respective, care pornesc din ariile motorii, premotorii, somestezice și mai puțin din alte regiuni corticale, acompaniază fibrele corticospinale pe care le părăsesc pentru a intra în FR, terminându-se, în special, în nucleii reticulari gigantocelular și pontin oral, bilateral, cu predominanță contralaterală. Alte fibre proiectează pe nucleii reticulari cu releu cerebelos, în punte pe nucleul reticulotegmentar, iar în bulb pe nucleii reticular lateral și paramedian.

Regiunile FR unde se termină fibrele corticoreticulare reprezintă originea proiecțiilor ascendente și descendente lungi, a proiecțiilor spre cerebel și a colateralelor pentru nucleii nervilor cranieni.

### Fiziologia formației reticulate

Moruzzi și Magoun (1949) au demonstrat că animalele adormite pot fi trezite prin excitarea formației reticulate de la nivelul trunchiului cerebral, de la nivelul subthalmusului și hipotalamusului posterior și de la nivelul regiunii talamice ventro-



mediale. O dată cu trezirea, stimularea a dus și la substituirea traseului EEG de somn cu unde lente și amplitudine mare, printr-un traseu cu unde rapide și cu amplitudine mică.

Autorii au dovedit astfel existența unui sistem reticulat activator ascendent (SRAA), bine sistematizat, care se întinde de la nivelul trunchiului cerebral până la cortex. Prin aferențele sale nespecifice provenite din colateralele căilor senzitivo-senzoriale (căi polisinaptice scurte), SRAA în traiectul său ascendent stimulează difuz scoarța cerebrală, menținându-i un tonus de excitabilitate sau stare vigیلă. Starea vigیلă a scoarței cerebrale se menține și printr-un mecanism reverberant cortico-reticulo-cortical. În funcționarea SRAA putem deosebi o activitate tonică și una fazică. Descărcările transmise scoarței cerebrale prin alte căi decât panglica lui Reil sau fasciculul spino-talamic au rolul de a menține activitatea tonică sau starea de veghe.

Activitatea fazică se referă la reacția de trezire corticală printr-un stimul senzitiv, care excită SRAA. Acum se știe că fasciculele ascendente ale FR care ajung la scoarța cerebrală pentru menținerea stării de vigilență și la hipotalamus pentru controlul homeostaziei urmează două căi: 1) calea longitudinală postsinaptică a conexiunilor intrareticulare; 2) calea longitudinală paucisinaptică, rapidă, via tractul tegmentar central (Andronescu, 1998). Aceste căi pleacă în special din nucleii bulbari gigantocelular și ventral și din nucleul pontin caudal. Unele fibre ale acestor căi fac un releu talamic (calea talamică) în nucleii intralaminari, după care se duc în neostriat (Jones și Levitt, 1974), dând colaterale spre scoarța cerebrală. Altele ocolesc talamusul (calea extratalamică), străbat regiunea subtalamică, capsula internă și ajung în neopalliumul cortexului limbic. Ambele căi au o proiecție corticală difuză alcătuind sistemul reticulat activator ascendent (SRAA), care pune în stare de veghe centrii corticale, realizând condiții optime pentru recepția conștientă a impulsurilor senzoriale, mediate prin căile specifice.

Prin intermediul colateralelor primite de la nervii cranieni, ele determină reflexele de la nivelul trunchiului cerebral, intervin în mecanismele de integrare în legătură cu emoția, percepția, motivația, somnul și habituația (mecanism neural prin care centrii corticale devin indiferenți la stimulii repetați, monotoni).

Formația reticulată este extrem de importantă pentru numeroasele răspunsuri (atenție accentuată, lipsă de reacție, repulsie) pe care le putem da la un anumit stimul. Absența influențelor reticulare ascendente la nivel cortical duce la somn, iar stimularea lor produce trezire.

Fibrele activatoare hipotalamice iau calea fasciculului longitudinal dorsal, a pedunculului mamar și a fasciculului medial anterior al creierului.

S-a descris apoi, și un sistem reticulat descendent, cu rol în modelarea tonusului muscular. Acesta este alcătuit din două fascicule importante: fasciculul reticulat descendent activator și fasciculul reticulat descendent inhibitor. Aceste fascicule primesc impulsuri de origine corticală, extrapiramidală, cerebeloasă și vestibulară și influențează în sens facilitator și inhibitor activitatea sistemului gama din cornul anterior al măduvei.

În consecință, fasciculele descendente ale FR sunt cele reticulospinale pontin și bulbar. Rolul esențial al sistemului reticulat activator și inhibitor descendent este

de a controla permanent activitatea motoneuronilor medulari, în special activitatea tonică posturală a motoneuronilor alfa, pe calea motoneuronilor gama și a nucleilor gama. Prin influență reciprocă, nucleii efectori reticulari sunt sub controlul ariilor motorii corticale și cingulare.

Astfel, alertarea cortexului de către SRAA este urmată de activarea centrilor reticulari prin intermediul fibrelor corticoreticulare.

Corpul striat își exercită influența asupra FR pe calea fibrelor strioreticulare. Fasciculele descendente ale FR laterale reprezintă eferențele nucleilor parvocelular tegmental, pontin lateral, ale grupelor neuronale  $A_1$ - $A_2$  și  $C_1$ - $C_2$ .

Celulele ariei parvocelulare dau axoni descendenți care, împreună formează fasciculul propriobulbar care se distribuie nucleilor trigemen și facial și nucleul nervului hipoglos (Andronescu, 1998).

În anul 1972, Dănăilă a descris un sistem reticulat inhibitor ascendent (SRIA) a cărui lezare duce la apariția sindromului de logoree și hiperkinezie.

Multe mecanisme cerebrale și psihice nu pot fi explicate numai prin simpla accentuare sau diminuare a funcționării SRAA. Prezența a două sisteme contrare (SRAA și SRIA) poate realiza cel mai bine homeostazia nervoasă, care reduce la maximum abaterile de la normal sau care menține organismul în limitele cerințelor bio-sociale.

În acest sens, trebuie menționată contracararea de către sistemul caudat a excitațiilor pe care SRAA le transmite nucleului central anterior al talamusului și scoarței cerebrale. Bucula caudată (caudate loop) formată din nucleul caudat, nucleul talamic ventral anterior și scoarța cerebrală (Buchwald și colab 1961) este un sistem inhibitor cu rol important în trezire, integrare, discriminare și învățare și cu acțiune contrară SRAA descris de Moruzzi și Magoun (1949).

Jasper (1960) a constatat că excitarea formației reticulate provoacă în scoarța cerebrală atât procese de excitație, cât și de inhibiție.

Coagulând o mică zonă din protuberanță, situată pe linia mediană între picior și calotă, Jouvet (1962) a obținut la pisică o insomnie totală.

Girard și colab. (1962) au prezentat observația unei paciente cu ramolisment gigant al piciorului protuberanțial, care avea insomnie permanentă.

Clemente și Serman (1963) au obținut sincronizarea ritmurilor corticale și somn comportamental prin stimularea unor regiuni de la baza creierului anterior, a ariei preoptice și a nucleului talamic median situat într-o zonă vecină cu masa intermedia.

Hernández și colab. (1963) afirmă că fasciculul median al creierului anterior, care traversează regiunea preoptică, face parte dintr-un sistem hipnogen cu acțiune inhibitoare asupra SRAA mezencefalic și talamic și că mediatorul chimic al acestuia este acetilcolina.

Matsumo și Marsan (1964) au observat apariția pe cerebel a unei activități electrice ritmice de 25-40c/s după injectarea intravenoasă a stricninei. Această activitate cerebeloasă se datorează faptului că stricnina suprimă activitatea unor sinapse inhibitoare, lăsând active numai sinapsele cu efect excitator.

Cortexul cerebral are și el putere inhibitoare asupra SRAA prin efectul de retroacțiune cortico-reticulată.

Sindromul de logoree și hiperkinezie pe care l-am descris (Dănăilă, 1972; Arseni și Dănăilă, 1977) împreună cu cercetările experimentale amintite ne-au



creat convingerea fermă că există și un sistem reticulat inhibitor ascendent (SRIA). Cele două sisteme reticulate ascendente, activator și inhibitor, împreună cu legăturile lor feed-back au importanță nu numai pentru inducerea somnului și vegheii, dar și pentru adaptarea tuturor activităților motorii, senzoriale, vegetative și psihice la situațiile atât de variate ale mediului fizic și social.

SRAA și SRIA reciproc conectate acționează în mod continuu, iar veghea și somnul împreună cu întreaga gamă de aspecte intermediare cuprinsă între cele două extreme, observată atât la animale cât și la om rezultă din competiția lor funcțională.

Din cele arătate se poate constata că inhibiția și somnul pot fi provocate prin stimularea cu frecvență joasă a numeroase puncte din trunchiul cerebral, talamus, hipotalamus, nucleul caudat, hipocamp, cortex etc. Aceste zone, care aparțin formației reticulate, nu sunt dispartate, ci alcătuiesc o unitate neurofiziologică al cărei substrat structural nu este altul decât sistemul reticulat inhibitor ascendent (SRIA).

Nu trebuie să rămânem cu impresia că somnul și veghea se află numai sub dependența celor două sisteme reticulate, activator și inhibitor.

Sistemul humoral (vezi somnul), hormonal, vegetativ, motivațional, trebuințele, voința, rațiunea etc, constituie tot atâtea elemente care vin să concureze la realizarea și dirijarea acestor stări.

Prin urmare, formațiunea reticulată reprezentată de cele două sisteme activator și inhibitor, ascendente și descendente, are un efect modulator important atât asupra cortexului cerebral, cât și asupra măduvei spinării. Ea reglează vigilența corticală, percepția, discriminarea spațio-temporală, memorizarea, expresia emoțională, recompensa, homeostazia, ritmurile biologice și starea de somn. De asemenea, FR controlează activitatea mușchilor scheletici, reajustează poziția și locomoția, influențează îndemânarea, gesturile, expresia facială, masticția, deglutiția, respirația, circulația și exercită un control grosier asupra sistemului somatosenzorial și neuroendocrin.

## Biochimia formației reticulate

Neuronii formației reticulate sunt aranjați în grupe funcționale distincte, bazate pe conexiuni și pe natura biochimică a transmitătorului lor. Acestea reprezintă surse majore ale sistemelor inputurilor noradrenergice, dopamniergice și serotonergice către majoritatea structurilor cerebrale. S-a mai evidențiat prezența acetilcolinei, histaminei și a cel puțin 40 de neuropeptide.

*Sistemul noradrenergic.* În creier există două căi noradrenergice majore: una ventrală și una dorsală.

Calea noradrenergică ventrală, cu origine bulbară și pontină, inervează regiunea mezencefalică și formațiunea reticulată de la acest nivel, pentru ca în final să ajungă la toți nucleii hipotalamici.

Calea noradrenergică dorsală își are originea la nivelul locusului ceruleus din partea inferioară a punții. Pe măsura înaintării sale spre diencefal, această cale dă ramificații talamice și hipotalamice, pentru ca în final să ajungă la hipocamp,



amigdală și cortexul cerebral. Din locus ceruleus pornesc și fibre descendente, care inervează nucleii inferiori ai trunchiului cerebral și cerebelul.

În timp ce neuronii locusului coeruleus dau neocortexului cele mai importante inputuri noradrenergice neocortexului, neuronii tegmentali laterali trimit majoritatea inputurilor noradrenergice trunchiului cerebral și măduvei spinării.

Semnificația fiziologică a acestor proiecții noradrenergice divergente este ilustrată de efectele comportamentale extensive produse de substanțele care modifică acțiunea norepinefrinică centrală (Aston-Jones și colab., 1984). Când neuronii locusului coeruleus sunt activați de inputuri senzoriale noi, ei răspund în grup printr-o activitate crescută, explozivă. Acest răspuns coordonat apărut la modificarea inputului senzorial sugerează că neuronii respectivi au un rol important în orientarea și atenționarea individului de prezența unui stimul aversiv sau contrastant (Cooper și Bloom, 1991).

Pentru a examina modul în care sistemul noradrenergic modulează activitatea neurală, Nicoll (1982 și 1988) a studiat răspunsul neuronilor hipotalamici, una din țintele locusului coeruleus, și a constatat că norepinefrina mărește excitabilitatea acestor celule. Norepinefrina acționează asupra receptorilor  $\beta$ -adrenergici ai neuronilor ce activează AMPc dependent de protein-chinază, fapt care duce la inhibarea conductanței  $\text{Ca}^{2+}$  activat de  $\text{K}^+$ .

Cooper și colab. (1991) au constatat că la nivelul altor neuroni corticali, norepinefrina activează receptorii  $\alpha$ -adrenergici, producând efecte opuse asupra excitabilității celulare. În aceste celule norepinefrina dă o ușoară hiperpolarizare și o diminuare a ratei excitabilității spontane.

Neuronii trigeminali laterali, care fac parte din sistemul noradrenergic, contribuie la integrarea funcției autonome prin intermediul proiecțiilor pe care nucleii medulari și ai trunchiului cerebral le trimit la neuronii simpatici preganglionari din celulele coloanei intermediolaterale, la nucleul tractului solitar și la nucleul motor dorsal al nervului vag. Activarea directă a neuronilor tegmentali laterali duce la diminuarea profundă a presiunii arteriale medii, a ratei cardiace și a presiunii sanguine.

Prin urmare, locus coeruleus este unul din cei mai bogați nuclei în noradrenalină. El trimite prelungiri descendente spre nucleii din bulb și funiculul lateral din măduvă și ascendente spre cerebel, hipotalamus, sistemul limbic și neocortex. Cele mai multe prelungiri se termină în jurul vaselor mici din creier, cu rol probabil în controlul și autoreglarea microcirculației cerebrale.

*Sistemul dopaminergic* Dopamina este un precursor al noradrenalinei și un mediator sinapticoadrenergic la nivelul căilor motorii extrapiramidale, la nivel pulmonar și la nivel intestinal.

Dopamina și produsul său de metabolism, acidul homovanilic, se găsesc din abundență în fibrele nigrostriate. La fetus predomină noradrenalina iar la naștere, apare o cantitate mai mare de adrenalină și dopamină.

În creier există de trei patru ori mai mulți neuroni dopaminergici decât noradrenergici. În contrast cu proiecțiile difuze ale sistemului noradrenergic, sistemul dopaminergic are o organizare topografică mult mai înaltă (Björklund și Lindvali, 1984). Pe baza proiecțiilor lor eferente, grupele celulare dopaminergice au fost clasificate în două sisteme: un sistem neosrtiat și un sistem mezocortical și



mezolimbic. Sistemul mezostriat din substanța neagră și din tegmentul ventral trimite proiecții la numeroase arii striate. Acesta este implicat în controlul mișcărilor involuntare. Distrugerea selectivă sau degenerarea sistemului dopaminergic mezostriat duce la apariția tulburărilor motorii din boala Parkinson.

Axonii dopaminergici care pornesc de la substanța neagră formează sinapse pe neuronii colinergici ai neostriatului.

Dopamina eliberată de terminațiile presinaptice inhibă în mod normal neuronii colinergici. În maladia Parkinson sau în cazul blocării dopaminei de către medicamentele neuroleptice, activitatea căii nigrostriate diminuează, iar neuronii colinergici rămân neinhibiți, hiperactivi. Prin urmare, simptomele extrapiramidale sunt date de neuronii colinergici supraactivi din striat, în special din nucleul caudat. Aceste efecte secundare produse prin blocarea dopaminei striate pot fi ameliorate cu ajutorul medicamentelor anticolinergice sau cu L-dopa.

Acțiunea antipsihotică nu depinde de blocarea dopaminei striate deoarece anularea acesteia se face fără afectarea acțiunii respective.

Este posibil ca în astfel de cazuri să fie vorba de dopamina mezolimbică. Se știe că sistemul limbic și cortexul reglează cogniția, învățarea, memoria și emoția, iar lezarea acestor arii poate produce ușor simptomele căderii schizofrenice. Se presupune deci că cele două căi dopaminergice operează în mod analog, dar în sfere diferite ale comportamentului.

Sistemul nigro-striat reglează puterea de răspuns a ganglionilor bazali la comenzile motorii, care își au originea în cortex.

Funcția ganglionilor bazali este aceea de a converti comenzile motorii în acțiuni. În acest sens, calea ascendentă a dopaminei controlează transformarea planurilor motorii în acțiuni și modulează capacitatea de răspuns a ganglionilor bazali.

Calea mezolimbică și corticală face același lucru, dar pentru acțiuni preconștiente și fantezii.

Lezarea acestor căi duce la pierderea inhibiției pentru gândire și la dominarea experienței conștiente de fluxuri ideative și de fantezii necontrolate.

Un alt sistem dopaminergic, tuberoinfundibular, cu origine în nucleul arcuat hipofizar, se ramifică în jurul vaselor portale ale eminentei mediane hipotalamice, locul de sinteză al factorilor eliberatori adenohipofizari. Sistemul respectiv, dublat de calea noradrenergică tuberohipofizară, se termină în neurohipofiză.

Prin urmare, neuronii dopaminergici și noradrenergici sunt implicați în reglarea circulației și secreției hipofizare.

Neuroni dopaminergici se găsesc și în alte regiuni ale sistemului nervos central.

*Sistemul serotoninergic* Cel mai extensiv sistem monoaminergic al trunchiului cerebral este sistemul serotoninergic ai cărui neuroni întrec ca număr celulele dopaminergice și noradrenergice din trunchiul cerebral. Denumirea chimică a serotonininei este de 5-hidroxitriptomină sau prescurtat 5-HT.

Serotonina rezultă din hidroxilarea triptofanului și decarboxilarea produsului rezultat, iar activarea ei ar avea loc prin intermediul AMPc.

Receptorii serotoninergici sunt de cel puțin două tipuri: M și O. Serotonina are o structură moleculară asemănătoare unui fragment al moleculei mari de LSD

(d-lysergic acid dietilamidă), ambele conținând un nucleu indolic. LSD este un drog halucinogen considerat prototipul drogurilor psihomimetice. LSD induce o depresie specifică în activitatea neuronilor serotoninergici, care prin dezinhibiție produc tulburări în sistemul vizual, limbic și în alte arii corticale.

Cele trei grupe serotoninergice caudale (nucleus rafe magnus, pallidus și obscurus) dau principalele proiecții serotoninergice descendente pentru măduva spinării (Chan-Palay, 1979; Bowker și colab., 1983; Aghajanian și Vandermaelen, 1986).

Proiecțiile descendente ale nucleului rafeului modulează neuronii motori și senzoriali ai măduvei. Există și proiecții dense, care pornite de la celulele serotoninergice ajung la zona superficială din cornul dorsal al măduvei spinării (lamina I și II). Aceste fibre deprimă inputurile aferente nociceptive.

Nucleii rafeului care aparțin mezencefalului și punții superioare trimit proiecții prin intermediul fasciculului telencefalic medial la mai multe formațiuni rostrale, în care includem cortexul cerebral, striatul, structurile limbice, tuberculul olfactiv, hipocampusul, hipotalamusul, septul și amigdala. Toate porțiunile telencefalice primesc inputuri de la nucleul median și dorsal al rafeului, precum și de la grupul celulelor B9 (Molliver, 1987).

Nucleul dorsal al rafeului trimite proiecții mai puternice către cortexul frontal și striat. Nucleul median al rafeului se proiectează în sept și hipocamp (Segal, 1981).

Cerebelul primește relativ puține fibre serotoninergice, în principal de la aria B4.

Ariile trunchiului cerebral cu cele mai dense proiecții serotoninergice includ nucleii rafeului, substanța neagră și nucleii nervului oculomotor și facial.

Distribuția sistemului serotoninergic este în mare parte similară cu cea a căii noradrenergice ventrale.

Corelația serotonină-comportament a fost mai puțin studiată. Una din cauze se datorează lipsei substanțelor specifice pentru blocarea sau stimularea sistemului respectiv. În majoritatea cercetărilor s-au folosit droguri sau leziuni care produc creșteri sau scăderi enorme ale concentrației generale de serotonină. În acest mod, s-a putut pune în evidență rolul serotoninei asupra somnului cu unde lente.

Lezarea rafeului sau injectarea unor substanțe care sărăcesc creierul de serotonină îi fac pe șobolani mai explorativi, mai hiperactivi, și chiar hiperagresivi.

Datele de mai sus sugerează că serotonină centrală mediază inhibiția comportamentală, iar substanțele care diminuează serotonină cerebrală mimează acțiunea medicamentelor antianxioase. Consecințele creșterii cantității de serotonină sunt mult mai puțin clare, dar se crede că ele diminuează activitatea comportamentală. Variațiile mici au efecte minore, în timp ce variațiile mari produc simptome specifice, anormale, manifestate prin tremur de repaus al capului și membrelor anterioare, rigiditatea torsului și întinderea membrelor inferioare. Se pare că serotonină este implicată și în scăderea ratei alimentare prin intermediul hipotalamusului.

Efectele excitatoare ale serotoninei au fost evidențiate cel mai bine la nivelul proiecțiilor nucleilor rafeului în nucleul motor al facialului.



Aghejianian și Vandermalen (1986) au constatat că 5-HT activează receptori 5-HT<sub>2</sub>, care duc la închiderea canalelor de K<sup>+</sup> și la depolarizare lentă. Serotonina produce efecte similare și asupra neuronilor piramidali din cortexul cerebral. De asemenea, serotonina, care acționează prin intermediul altor receptori, poate inhiba descărcarea neuronală.

Astfel, Segal (1981) a constatat că în hipocamp serotonina produce inhibiție, prin deschiderea canalelor de K<sup>+</sup> și prin hiperpolarizarea neuronilor respectivi. Efecte inhibitoare similare apar în cortexul cerebral și în neostriat.

Alți cercetători au constatat că la nivelul nervilor senzitivi periferici serotonina este facilitatoare, ca urmare a creșterii permeabilității pentru Na<sup>+</sup> și de depolarizare a membranei. La nivel central, are efecte inhibitorii fie datorită permeabilității crescute pentru K<sup>+</sup>, fie datorită scăderii Ca<sup>2+</sup> intracelular. Prin acțiunea sa inhibitoare la nivelul SNC, serotonina are rol în modularea și menținerea comportamentului în limite considerate normale.

**Acetilcolinesteraza** Prezența acetilcolinesterazei nu este legată de existența acetilcholinei. Sinteza ei este controlată transsinaptic de către mediatorul colinergic cu participarea AMPc și a proteinkinazelor.

Acetilcolinesteraza se găsește în celulele nucleilor motori ai nervilor cranieni, incluzând nucleul dorsal al nervului vag, în unele celule ale nucleilor senzitivi ai nervului trigemen, în FR, în creier și în măduva spinării. Receptorii colinergici muscarinici pot fi întâlniți în nucleii nervului hipoglos, ambiguu și mai puțin în nucleul motor dorsal al nervului vag, care conține receptori nicotinici.

Activarea colinesterazică cerebrală se reflectă asupra inteligenței și comportamentului.

**Peptidele** Peptidele, methionion (met-) enkefalina și leucin (leu-) enkefalina sunt în strânsă legătură cu prezența receptorilor opiacei.

Localizate în straturile II și III ale porțiunii caudale a nucleului tractului spinal al trigemenului și a nucleului tractului solitar precum și într-un grup neuronal situat lateral de nucleul raphe magnus, ele acționează fie ca neurotransmițători, fie ca modulatori.

În nucleii nervilor facial, hipoglos și în unele regiuni ale FR, concentrația enkefalinelor este moderată. Celulele cu met-enkefalin se găsesc în substanța cenușie periapeductală, în nucleul raphe magnus și raphe pallidus din bulb, în nucleul tractului spinal și al trigemenului și în straturile I, II și V Rexed din măduva spinării. Distribuția fibrelor conținătoare de enkefalină prezintă o mare concordanță cu cea a fibrelor monoaminice din nucleii bazali, aria septală, hipotalamus, nucleul amigdalian și toate ariile corticale. Aceiași distribuție o are și substanța P, astfel încât met-enkefalina, endorfina, substanța P și celulele conținătoare de serotonină formează un complex integrativ care modulează mecanismele implicate în percepția dureroasă.

**Ocitocina și vasopresina** Aceste două substanțe sunt elaborate în nucleii hipotalamici supraoptic și paraventricular și stocate împreună cu neurofizinele lor

în neurohipofiză. Ele ajung în bulb pe căi axonale și se termina în nucleul tractului spinal al trigemenului (Iamal), în nucleul tractului solitar, în nucleul dorsal al nervului vag și în nucleul reticular lateral (Andronescu, 1998). Terminațiile neuronilor care sintetizează vasopresina fac contacte cu capilarele eminentei mediane, influențând secreția de ACTH a adenohipofizei, dar fără a fi un factor eliberator.

Secreția lactată este controlată de ocitocină, care are probabil rol inhibitor asupra mecanismelor de consolidare a memoriei.

**Substanța P** Substanța P se găsește în unele celule ganglionare de pe rădăcinile dorsale ale nervilor spinali, ale căror terminații ajung în straturile superficiale ale cornului posterior care primesc informații nociceptive. La nivelul bulbului, poate fi întâlnită în straturile superficiale ale porțiunii caudale a nucleului tractului spinal al trigemenului și a nucleului tractului solitar. O concentrație mai mică este găsită în nucleul raphe magnus.

Împreună cu tahikininele (substanța K și neuromedina K), substanța P produce vasodilatația vaselor corticale.

Prezența diferitelor substanțe chimice a dus la întocmirea unei hărți a distribuției acestora în FR și a căilor lor de transmisie. Această hartă, realizată inițial pe animalele de experiență, s-a dovedit ulterior a fi, cu mici modificări, valabilă și pentru om (Andronescu, 1989).

Astfel, în FR a SNC se descriu:

1. Sistemul reticular colinergic
2. Sistemul reticular monoaminergic format din:
  - a. FR noradrenergică;
  - b. grupe neuronale dopaminergice
  - c. FR serotoninergică
3. Grupe neuronale conținând substanțe peptidice.

Prin urmare, formațiunea reticulată nu reprezintă un sistem funcțional autonom cu potențe psihoafective sau de conștiință deosebite ci este numai o cale intermediară, un filtru și un fel de reglator al unor largi game de influențe humorale, hormonale, vegetative, somestezice exteroceptive și motorii. Funcționalitatea acesteia este subordonată ansamblului funcțional al întregului organism și activității tuturor sistemelor și aparatelor, în coralație cu mediul fizic și social.

Formația reticulată a trunchiului cerebral are multe funcții. Tehnicile anatomice recente au schimbat punctele noastre de vedere privind înțelegerea structurii formației reticulate, relevând un mare număr de grupe celulare, deosebite din punct de vedere morfologic și biochimic. În plus, în afara funcției integrative de mediere a stării de trezire, acești neuroni reglează reflexele musculare, coordonează funcția sistemului nervos autonom și modulează percepția durerii.

Clinic, sindroamele reticulate realizează aspecte diferite, după cum leziunea interesează sistemul reticulat activator sau inhibitor ascendent sau descendent.



## Sindroame de tip reticulat

Mutismul akinetic Tulburare intermitentă sau permanentă a stării de conștiență, acest sindrom se caracterizează prin lipsa de răspuns la întrebări (mutism), imobilitate a corpului și capului (akinezia), ținere a ochilor deschiși, cu deplasarea privirii spre examinator, spre obiectele prezentate și spre sursa de zgomot, prin lipsa răspunsului emoțional și motor la încercările examinatorului de a comunica cu pacientul, precum și față de tot ce se petrece în jur.

În ciuda acestor stări vigile cu „prezență oculară“, care pot fi mărturia unui nivel de conștiență destul de ridicat, bolnavul rămâne aproape total mut și imobil, deși nu este paralizat.

Afirmarea prezenței unui grad de recepție și conștiență se bazează pe faptul că în perioadele de ameliorare intermitentă, bolnavul poate relata nume de persoane și fapte prezentate sau petrecute în faza totală de akinezie și mutism. Percepția acestor bolnavi este mult redusă, dar nu abolită, iar reactivitatea lor superficială este păstrată.

Inițial, sindromul de mutism akinetic a fost descris de Cairns și colab. (1941). Ulterior Kreindler, Macovei, Cadaș și Dănăilă (1966) au deosebit din punct de vedere clinic un mutism akinetic de origine reticulată și un mutism akinetic de origine frontală sau cingulară

Mutismul akinetic de origine reticulată se traduce prin imobilitate totală și prezența reflexului de orientare. Bolnavul urmărește cu privirea pe examinator, urmărește obiectele ce i se prezintă, întoarce brusc ochii spre lumină sau către un zgomot neașteptat, manifestări pe care Cairns și colab. (1941) le-au numit prezență oculară. Ritmul somn veghe este păstrat. Alimentația pasivă este posibilă deoarece deglutiția este relativ bună.

Incontinența de urină și fecale nu se datorează deficienței sfincteriene, ci apare ca o consecință a akineziei totale, care împiedică bolnavul să-și semnalizeze nevoile fiziologice.

Akinezia feței se traduce printr-o lipsă completă de mimică emoțională. Uneori, bolnavii reușesc să șoptească câteva silabe sau cuvinte adecvate situației și să schițeze un gest lent, incomplet și de mică amplitudine. Este posibil ca motricitatea oculară să aibă o reprezentare și caracteristici funcționale particulare la nivelul formațiunii reticulate. Pe de altă parte, starea de veghe-somn prezintă un ritm normal, ceea ce arată că grupul neuronal reticulat care intervine în reglarea ei este indemn. Automatismul alimentar este conservat, centrii reticulați respectivi fiind deci intacti.

Bolnavul nu-și poate traduce prin mimică dezgustul sau plăcerea pentru alimente, pentru că are amimie prin akinezie.

Akinezia reticulată trebuie diferențiată de lipsa de incitație motorie din leziunile frontale descrisă de Kleist sub numele de antriebsmangel. Aceasta este mai puțin absolută și mai ușor de învins prin incitații viguroase. Este mai mult o asponaneitate decât o akinezie.

Mutismul poate fi determinat de alterarea mecanismelor de inițiere a vorbirii. Akinezia produsă de lezarea girusului cinguli are o semiologie mai puțin precizată

și poate lua un aspect de stupor cu prezență oculară, iar stimulii puternici și nociceptivi reușesc să o învingă parțial (fenomenul de înviorare motorie). Deseori, mutismul akinetic cingular se prezintă fără tulburări neurologice patente, fiind însoțit uneori de accese de furie vocală.

Topografia leziunilor anatomice este foarte variată, datorită faptului că acest sindrom poate fi observat în cursul proceselor lezionale, afectând structurile care se întind de la protuberanță până la nucleii bazali și regiunea interhemisferică anterioară (girus cinguli bilateral).

Bailey și Davis (1942) au arătat că elementele esențiale ale mutismului akinetic pot fi reproduse experimental printr-o leziune a substanței cenușii peripeductale produsă cu un electrod introdus prin ventriculul IV.

Guiot și colab. (1961) au constatat în cursul operațiilor stereotaxice pentru parkinsonism o accelerare sau o oprire a vorbirii prin stimularea talamică, mai ales a nucleului ventro-lateral, din apropierea de liniei talamo-capsulare.

Regiunile cingulară și orbitară pot da și ele, când sunt stimulate, o inhibiție a comportamentului motor. De asemenea, stimularea repetitivă a regiunii anterioare a insulei, a tuberculului olfactiv, a lobului piriform, a amigdalei etc. dă o supresiune a activității motorii spontane tot timpul cât durează stimularea electrică (Kaada și colab., 1961).

După Mamo (1958) și Houdard și Mamo (1962) sindromul lui Cairns s-ar datora unei tulburări a dinamogenezei cerebrale provocată de o deficiență reticulată, care nu-și mai poate exercita influența ei activatoare asupra altor sisteme nespecifice, cum sunt sistemul talamic difuz, hipotalamusul, rinencefalul etc. Ei atribuie formațiunii reticulate un rol important în geneza sindromului. Aceasta și-ar exercita efectul asupra unor formațiuni integratorii superioare (rinencefalul, hipotalamusul), care joacă un rol fundamental în comportament. În interpretarea fiziopatologică vom ține seamă de faptul că la nivelul formațiunii reticulate a trunchiului cerebral și superior acestuia se află o diferență anatomică și funcțională bazată pe existența a două sisteme reticulate ascendente, activator și inhibitor, împreună cu conexiunile lor inverse. Astfel, putem explica și existența sindromului de logoree și hiperkinezie descrisă de Dănăilă (1972).

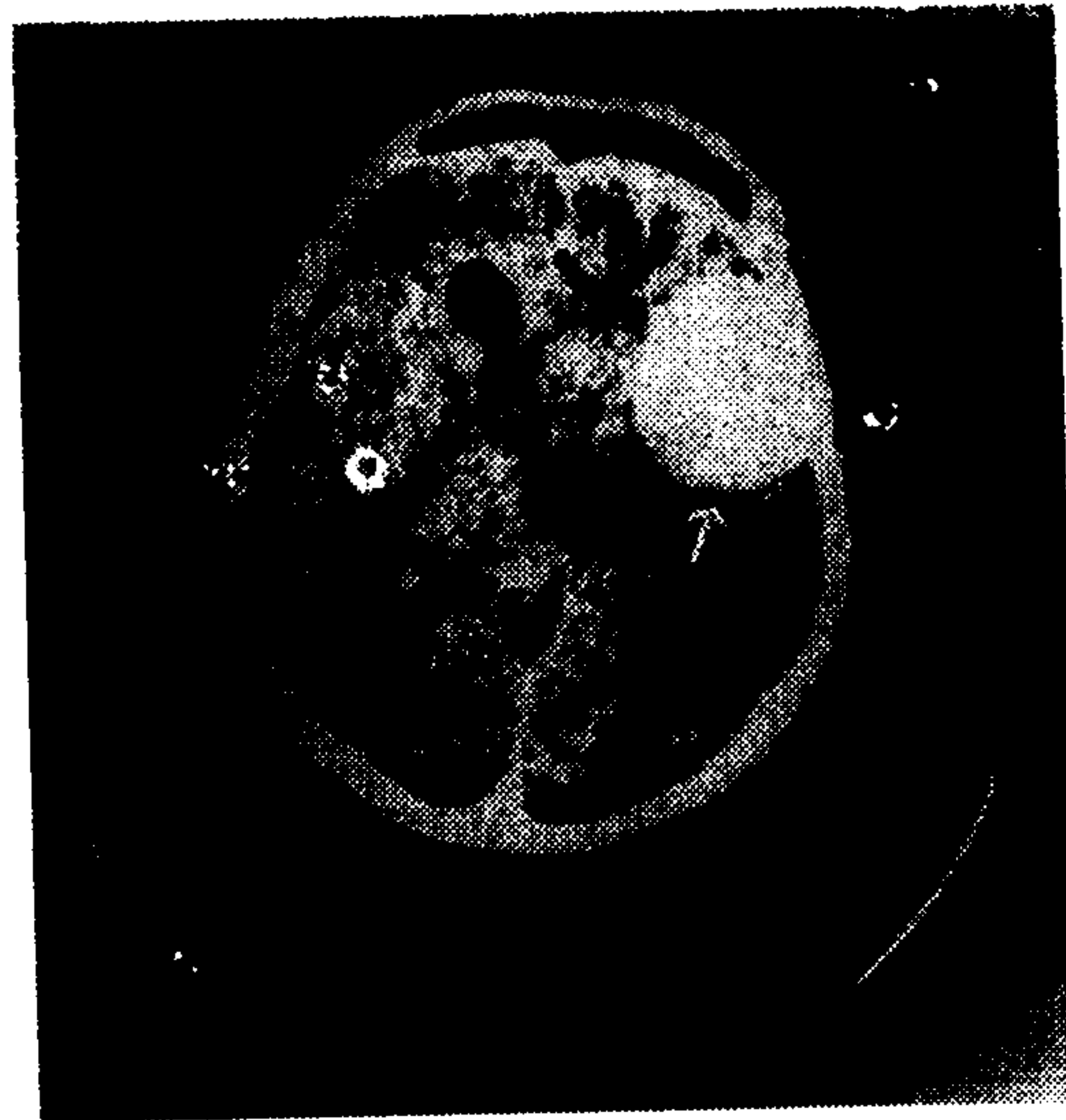
● Sindromul de logoree cu hiperkinezie Urmărind comportamentul bolnavilor cu diferite afecțiuni neurochirurgicale, am observat că în afara sindromului de mutism akinetic, starea bolnavilor se poate manifesta și în sens opus, îmbrăcând aspectul de logoree cu hiperkinezie sau al unei game de fenomene intermediare între aceste extreme (logoree fără hiperkinezie, hiperkinezie fără logoree, hiperkinezie cu mutism) (Arseni și Dănăilă, 1977).

Sindromul de logoree cu hiperkinezie a fost întâlnit preoperator, dar și în perioada postoperatorie la bolnavi cu următoarele afecțiuni neurochirurgicale: neurinoame de acustic stângi (2 cazuri), anevrism rostral al arterei bazilare (1 caz) (fig. 48), meningiom de pterion drept (1 caz) (fig. 49), tumoră de etaj mijlociu al bazei craniului cu dezvoltare maximă latero- și retroselară stângă (1 caz), hematom subdural incapsulat de hemisfer stâng (2 cazuri) (fig. 50), meningiom de sinus longitudinal superior cu dezvoltare frontală bilaterală (1 caz) și fronto-parietală (1 caz) (fig. 51), glioblastom temporal drept verificat operator (2 cazuri) (fig. 52 și 53), metastază parieto-temporală dreaptă (1 caz).

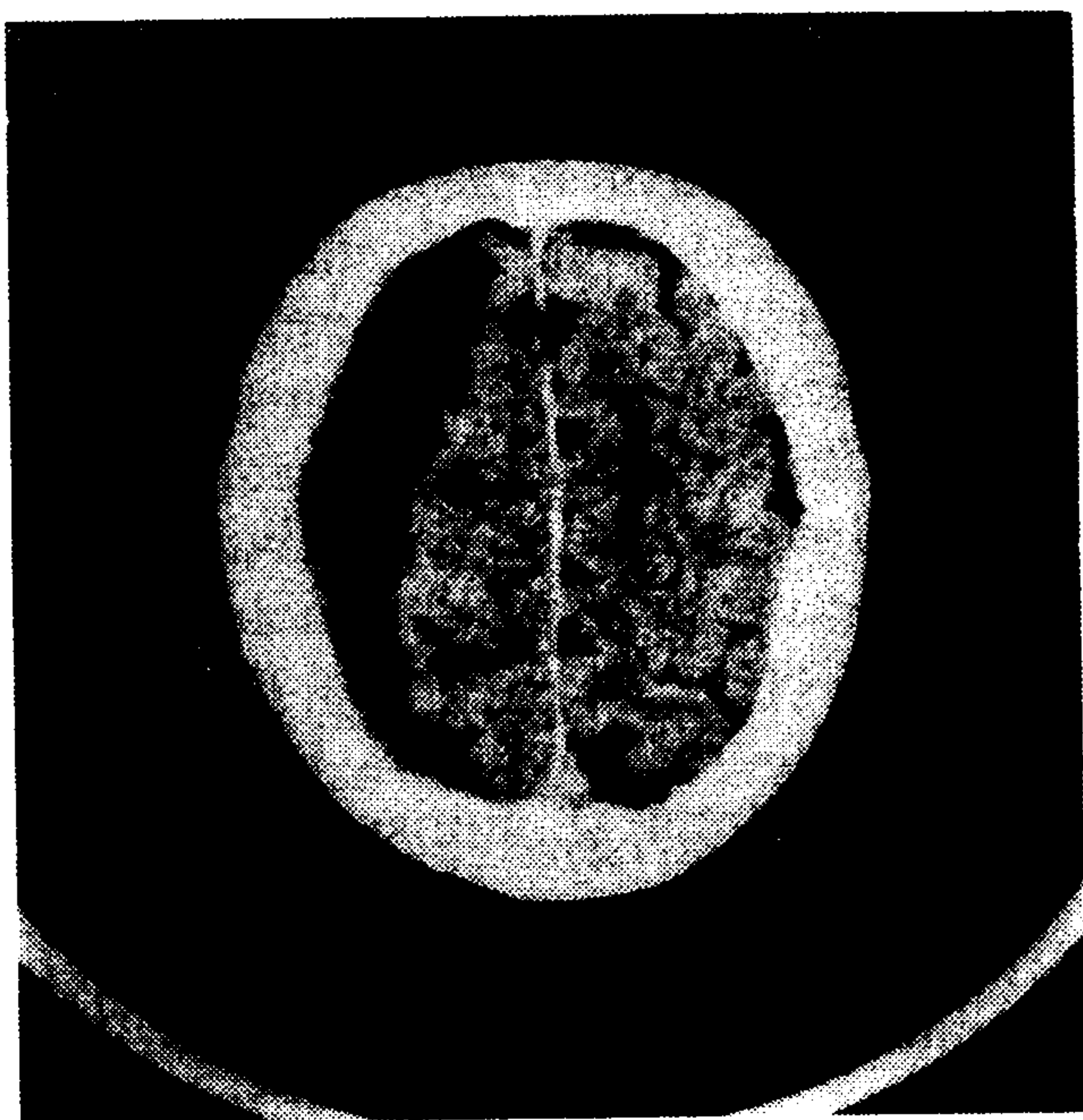




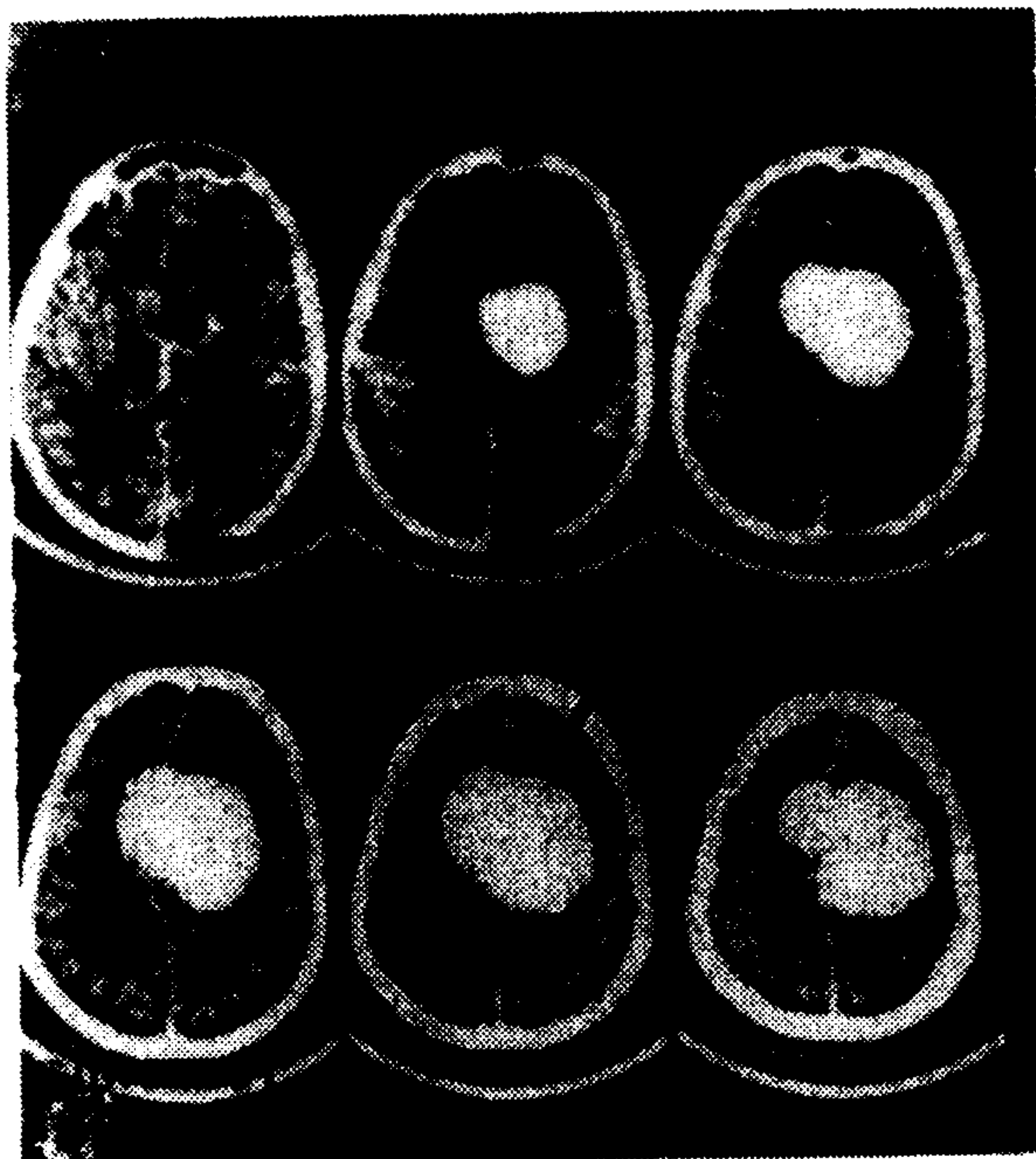
**Fig. 48.** Arteriografia vertebrală relevă prezența unui mare anevrism situat la nivelul vârfului arterei bazilare.



**Fig. 49.** TC relevă prezența unui meningiom de pterion drept care a provocat sindromul de logoree cu hiperkinezie.



**Fig. 50.** TC relevă prezența unui mare hematoma subdural vechi de hemisfer stâng.



**Fig. 51.** TC relevă prezența unui mare meningiom de sinus longitudinal superior dezvoltat fronto-parietal bilateral.

Sindromul de logoree fără hiperkinezie a fost prezent la un bolnav cu dilacerare și ramolism de lob temporal drept, la care s-a descoperit apoi un hematoma subdural.



Fig. 52. TC relevă prezența unui mare glioblastom temporal drept care după ablație a dus la apariția unui marcat sindrom de logoree cu ușoară hiperkinezie.

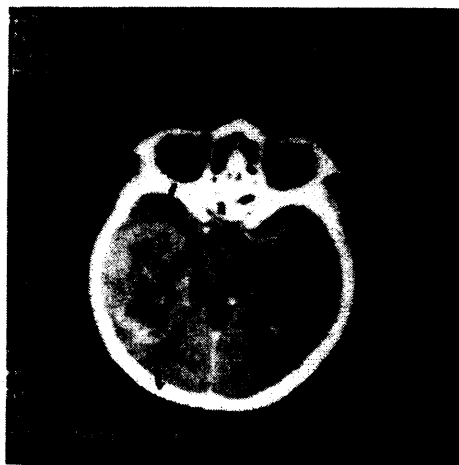


Fig. 53. TC relevă prezența unui mare glioblastom temporal drept care după ablație a dus apariția unui evident sindrom de logoree cu hiperkinezie.

Sindromul de hiperkinezie cu mutism a fost pus în evidență la 7 bolnavi. Unul dintre aceștia a prezentat meningoencefalită difuză, care a cuprins și trunchiul cerebral. Un alt bolnav cu hemiparkinsonism drept și mutism a prezentat anevrism sacciform, polilobat de sifon carotidian drept. Doi pacienți cu metastază frontală dreaptă au prezentat hemihiperkinezie dreaptă și mutism. Un pacient cu meningiom situat în  $F_2$   $F_3$  stâng și meningiom de coasă bilateral fronto-parietal a prezentat hiperkinezie stângă, mișcări orizontale ale capului de tip parkinsonian și afazie.

Hemihiperkinezia dreaptă și mutismul au fost prezente la un bolnav cu dilacerarea de lob orbital stâng și cu ramolism hemoragic fronto-parietal stâng.

În fine, un bolnav cu neurinom de acustic drept și cu gliom de treime anterioară de nucleu caudat drept a prezentat, în faza inițială, logoree cu hiperkinezie, după care a apărut hemiparkinsonism drept și mutism (Arseni și Dănăilă, 1977).

Sindromul de logoree cu hiperkinezie se caracterizează prin hipermnzie (cu exagerarea evocărilor care devin tumultuoase, intempestive și rapide), exagerarea atenției, a reflexului de orientare, logoree, mobilitate exagerată, simț critic ascuțit, somn foarte puțin (2-3 ore din 24 de ore), judecată sau raționament normale sau deteriorate, după gradul de întindere și după localizarea leziunii cerebrale. În timp ce mutismul akinetic se datorează lezării sistemului reticulat activator ascendent, sindromul de logoree cu hiperkinezie apare ca rezultat al lezării, comprimării sau siderării funcționale a sistemului reticulat inhibitor ascendent a cărui existență o postulăm.

Prin urmare, pe lângă celelalte sisteme homeostatice sistemul reticulat constituie un veritabil mecanism reglator al întregului nevrax, prin faptul că



participă la reglarea tuturor proceselor psihice (atenție, memorie, raționament, comportament etc), a vorbirii, a tonusului muscular și a mișcărilor etc.

În ceea ce privește tonusul muscular, amintim că rigiditatea prin decerebrare, decorticare precum și crizele ventriculare au drept cauză tot lezarea SRIA. După lezarea SRAA sau SRIA de către diferite procese patologice, apare o dereglare homeostatică, mai mult sau mai puțin importantă, care produce fie mutism akinetic, fie un sindrom de logoree cu hiperkinezie sau o combinație între două sindroame. Totuși, sistemul reticulat nu poate fi luat în considerație separat, ci trebuie privit ca un tot anatomofuncțional integrativ, interconectat cu toate celelalte formațiuni ale sistemului nervos.

Rigiditatea prin decerebrare Lezarea substanței reticulate activatoare și inhibitoare descendente dă modificări importante de tonus muscular.

Rigiditatea prin decerebrare se produce printr-o activare exagerată a sistemului reticulat activator din trunchiul cerebral și a nucleilor vestibulari.

În circumstanțe normale, trunchiul cerebral, ca și măduva spinării, se află sub controlul nivelurilor superioare ale SNC prin intermediul fibrelor aferente venite de la acestea. Când la om și la animale se întrerupe acest control superior printr-o transecțiune a trunchiului cerebral situată deasupra nucleului vestibular și sub nucleul roșu, se produce rigiditate decerebrată. Pe de altă parte, cerebelul rămâne atașat de trunchiul cerebral, iar conexiunile sale prin intermediul pedunculului inferior și al brațului descendent al lui brahium conjunctivum rămân intacte.

Cel mai important simptom al decerebrării (la pisică) este extrema hipertonicitate a mușchilor extensori ai membrelor și ai gâtului, care apare la câteva minute după decerebrare. Inițial, rigiditatea prin decerebrare a fost studiată experimental de Sherrington (1898), dar ulterior ea a fost identificată și clinic de către Wilson (1920).

Când decerebrarea apare la primate sau la pacienți ca rezultat al unor hemoragii cerebrale extinse sau a unor tumori, ea se manifestă printr-o creștere mai puțin pronunțată a tonusului extensorilor.

Extensia clasică apare intermitent sau numai la aplicarea unor stimuli nociceptivi periferici. Provocarea posturii de decerebrare și a altor reflexe de trunchi cerebral (reflexe oculovestibulare) ne indică nivelul aproximativ al funcțiilor reziduale din interiorul sistemului nervos. Mișcarea binoculară este coordonată de 12 mușchi. Reflexul oculovestibular orizontal menține imaginea vizuală și cu ajutorul mișcării capului. Acest reflex este coordonat de acțiunea a patru mușchi, dreپți externi și dreپți interni.

Pacienții cu leziuni de trunchi cerebral au deficite caracteristice de mișcare oculară. Leziunile care interesează centrul pontin al privirii dau paralizii de orizontalitate, privirea în sus rămânând intactă.

Leziunile mezencefalice care afectează centrul privirii verticale dau paralizii de verticalitate.

Lezarea fascicului longitudinal medial provoacă deconectarea neuronilor motori ai dreptului medial de interneuronii abducensului.

Acest deficit de drept medial numit oftalmoplegie internucleară este adesea întâlnit și la pacienții cu scleroză multiplă.

Postura decerebrată rezultă din combinarea activității tonice a neuronilor reticulospinali. Ca rezultat, reflexele de întindere a mușchilor extensori devin hiperactive, iar tonusul acestora crește.

Sherrington (1898) a constatat că contractura musculară tonică a membrelor decerebrate dispăre după secționarea rădăcinilor dorsale. Ea întrerupe reflexul de întindere prin împiedicarea terminațiilor fusurilor de a transmite neuronilor motori activitatea tonică.

Efectul profund al secționării rădăcinilor dorsale asupra rigidității decerebrate relevă importanța reflexului de întindere în menținerea tonusului muscular. Și alți factori contribuie la producerea rigidității extensorilor după decerebrare. Printre aceștia enumerăm activitatea reticulospinală și fibrele aminergice ale trunchiului cerebral, care inhibă căile reflexe polisinaptice de flexie din măduva spinării.

## VI. CEREBELUL

### Coordonate anatomice

Structurile cerebeloase apar relativ târziu pe scara evoluției filogenetice. De-abia la reptile se diferențiază pentru prima dată nucleii cerebeloși de – sine stătători - omologi ai nucleilor fastigiali și dințați ai mamiferelor.

La om, el reprezintă o formațiune pregnant delimitată și individualizată din punct de vedere topografic și anatomic.

Cerebelul (creierașul) constituie porțiunea cea mai voluminoasă a mezencefalului.

Este situat în partea posteroinferioară a cutiei craniene, înapoia bulbului și punții și dedesuptul lobilor occipitali ai creierului, fiind separat de aceștia printr-o membrană conjunctivo-fibroasă denumită cortul cerebelului, o prelungire a durei mater.

Denumirea de creieraș se referă la asemănarea marcată între acesta și creierul mare, pe care cerebelul îl imită la dimensiuni mai mici prin lipsa emergențelor de nervi cranieni, prin divizarea suprafeței în șanțuri și circumvoluții și prin structura sa internă (la suprafață găsim scoarța, iar în interior o masă voluminoasă de substanță albă în mijlocul căreia se află nucleii cenușii subcorticali)

Ca și creierul mare, cerebelul dispune de fibre de proiecție, de conexiuni corticosubcorticale și de reprezentări corticale ale periferiei. Diferențele se referă la îngustimea circumvoluțiilor, la dispunerea mai ordonată a acestora, precum și la uniformitatea structurii corticale. În scoarța cerebrală elementul cel mai caracteristic este celula piramidală, în timp ce în cerebel constituentul specific este celula lui Purkinje.

În delimitarea părților sale componente mari, astăzi se corelează criteriile de ordin longitudinal (mai vechi) cu cele de ordin transversal (mai noi). Suprapu-



nerea conexiunilor vestibulare, proprioceptive și corticale impune o diviziune ontofilogenetică în porțiuni arhi-, paleo- și neocerebeloase. Limitele acestor porțiuni pe cerebelul omului adult nu sunt nete, deoarece structurile mai recente se împletesc în bună parte cu cele mai vechi. Totuși, se poate face o delimitare aproximativă a celor trei porțiuni.

**Arhicerebelul** reprezentat prin lobul floculo-nodular (structura cea mai veche și cea mai mică) este conectat cu nucleii vestibulari. El este alcătuit din nodulus, ca formațiune vermiană și flocculus ca formațiune cerebeloasă.

**Paleocerebelul** constituit din lobul central și lobul patrulater anterior, primește aferente de la măduva spinării și trunchiul cerebral și trimite eferente la nucleii cerebeloși (dințat) și la formațiunile tonigene ale trunchiului cerebral, în primul rând nucleului roșu, iar de aici substanței reticulate și măduvei spinării prin căile rubroreticulate și rubrospinale.

**Neocerebelul** este porțiunea ce mai voluminoasă și cea mai nouă pe scară filogenetică. El este constituit din lobii patrulater posterior, semilunar superior, semilunar inferior, gracilis și biventer care au conexiuni cu scoarța cerebrală prin căi plecate din câmpurile citoarhitectonice ale lobilor frontal, parietal, temporal și occipital.

Eferentele neocerebeloase care pornesc de la nucleul dințat, nu și de la scoarța cerebeloasă, se grupează în fasciculul dento-rubro-talamo-cortical. O altă cale eferentă are originea în nucleul emboliform și se îndreaptă spre centrul median al talamusului, spre nucleul caudat și putamen. În felul acesta este constituit un important contingent proprioceptiv care conectează cerebelul cu aparatul striat.

Ca formă cerebelul este ovoid, turtit vertical cu axa mare în sens transversal. Diametrul transversal măsoară în medie 10 cm, cel sagital 6cm, iar cel vertical aproximativ 4cm. Prin modul de organizare cerebelul pune în evidență trei fețe: superioară, în raport cu cortul cerebelului ce-l separă de emisferele cerebrale; inferioară, în raport cu fosele cerebeloase ale occipitalului; anterioară, în raport cu fața posterioară a trunchiului cerebral.

Greutatea cerebelului este în medie de 120-150g, reprezentând a opta parte din greutatea totală a creierului. Suprafața cerebelului măsoară aproximativ 1000cm<sup>2</sup>, din care numai 1/6 este vizibilă la exterior. Aceasta este brăzdată de o serie de șanțuri, unele mai lungi și mai adânci (circa 22mm) care dau naștere la lobi și lobuli, altele mai scurte și mai superficiale (circa 3-6mm) care delimitează circumvoluții sau lobului.

Cei trei lobi ai corpului cerebelos sunt delimitați de două fisuri (șanțuri): fisura primară, între lobul anterior și cel mijlociu și fisura piramidală, între lobul mijlociu și lobul posterior.

Șanțul uvulonodular de pe fața inferioară delimitează lobul posterior de lobul floculonodular. Fisura orizontală a cerebelului urmărește aproape fidel marginea acestuia, adică limita dintre cele două fețe. Din punct de vedere funcțional nu are nici o importanță (Fig. 54).

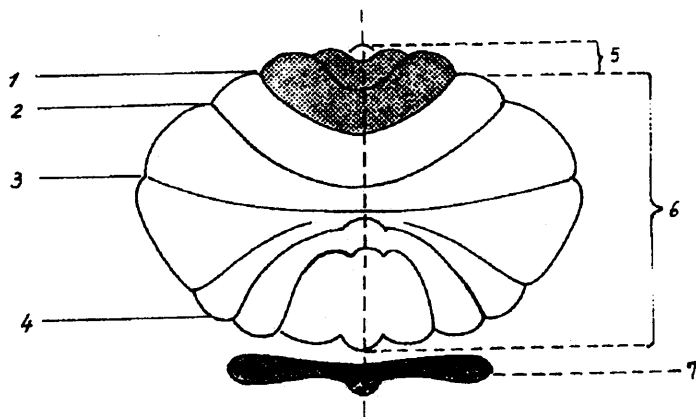


Fig. 54. Schema fisurilor cerebeloase și diviziunea filogenetică a cerebelului

1. Fisura primară; 2. Fisura posterosuperioară; 3. Fisura orizontală; 4. Fisura piramidală; 5. Lobul anterior (paleocerebelul); 6. Lobul posterior (neocerebelul); 7. Lobul flocculo-nodular (arhicerebelul).

Cerebelul poate fi împărțit în trei fâșii longitudinale juxtapuse vermisul și cele două hemisfere cerebeloase, care sunt legate de bulb, punte și mezencefal prin intermediul celor trei perechi de pedunculi.

**Vermisul** este o porțiune mediană nepereche, care are un diametru de 4cm și o lățime de 1cm. Acesta prezintă circumvoluții transverse inelare, care îi dau un aspect de vierme de mătase îndoit în semicerc, de unde îi vine și numele dat de Galen (Fig. 55).

Porțiunea anterioară a vermisului superior poartă numele de lingulă. A doua diviziune vermiciană poartă numele de lobul central și este puțin mai voluminoasă decât prima. Lateral trimite prelungiri pe hemisferele cerebeloase sub formă de arpi. Diviziunea a treia și a patra (culmen și declive) formează aproape toată fața

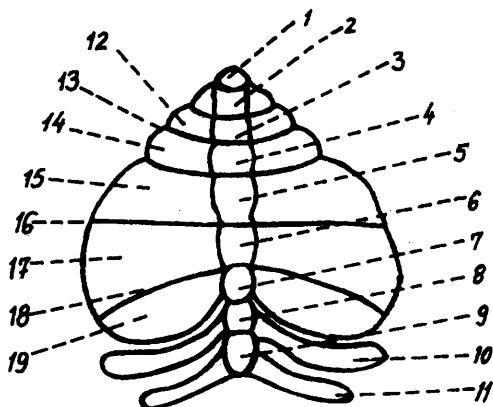


Fig. 55. Principalele subdiviziuni ale vermisului și ale cerebelului

1. Lingula; 2. Lobul central; 3. Culmen; 4. Declive; 5. Folium; 6. Tuber; 7. Piramida; 8. Uvula; 9. Nodulus; 10. Paraflocculus; 11. Flocculus; 12. Lobulul patrulater; 13. Fisura primară; 14. Lobulul simplex; 15. Lobulul semilunar superior; 16. Fisura orizontală; 17. Lobulul semilunar inferior; 18. Fisura prepiramidală; 19. Lobulul biventer.



superioară a vermisului. Hemisferelor cerebeloase le corespunde lobul partulater divizat de fisura primară într-o porțiune anterioară și una posterioară. Al cincilea, lobul vermian este folium (foița) constituit dintr-o singură lamă subțire ascunsă în profunzimea incizurii posterioare.

Lateral se continuă cu lobul semilunar superior, care ocupă treimea posterioară a hemisferei. Cu acesta se termină vermisul superior și fața superioară a hemisferelor și trecând dedesuptul fisurii orizontale se ajunge la diviziunile de pe fața inferioară a cerebelului. Astfel, urmează lobul cel mai voluminos de pe vermisul inferior cu formă de tuberozitate, numită tuber-vermis. Lateral, pe hemisfere, se continuă cu lobul semilunar inferior, asemănător celui de pe fața superioară. Sub tuber se află un lobul mic, numit pyramis (piramida).

Lateral de pyramis se continuă cu lobul biventer cu formă de semilună, dar care este subdivizat în două jumătăți concentrice aproape egale.

Penultimul lobul de pe vermis este uvula (lueta) căreia, lateral, îi corespund amigdalele. Dincolo de fisura posterolaterală se ajunge la ultima diviziune de pe vermis numită nodulus (nodulul), căruia lateral, pe hemisferele cerebeloase îi corespunde lobul flocculus.

Anterior flocculus apare în unghiul pontocerebelos, iar pedunculul său urmează forma arcuită a recesului lateral al ventriculului patru (fig. 56).

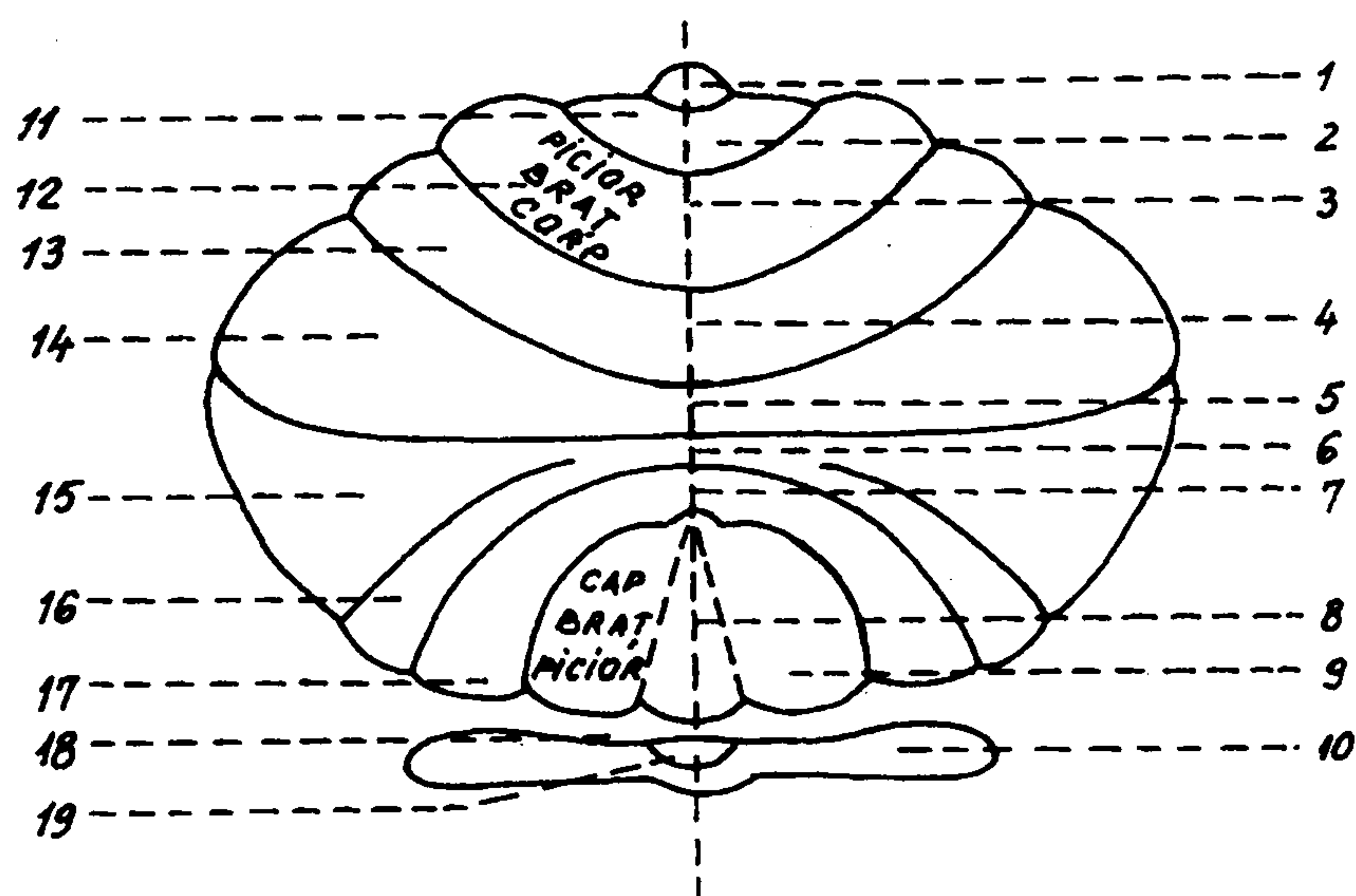


Fig. 56. Schema diviziunilor vermisului și a lobulilor cerebeloși

1. Lingula; 2. Lobul central; Culmen; 4. Declive; 5. Folium; 6. Tuber; 7. Pyramis; 8. Uvula; 9. Amigdala; 10. Flocculus; 11. Lobul central; 12. Lobulul partulater anterior; 13. Lobulul partulater posterior; 14. Lobulul semilunar superior; 15. Lobulul semilunar inferior; 16. Lobulul gracilis; 17. Lobulul biventer; 18. Paraflocculus; 19. Nodulus.

Prin urmare, se pot distinge lobuli atât pe vermis, cât și pe hemisfere. Fiecare lobul de pe vermis este în continuitate cu câte unul de pe hemisfere, cu care constituie o unitate morfofuncțională. Denumirile lobulilor sunt arbitrare, fără semnificație funcțională sau filogenetică.

Legăturile exterioare ale cerebelului se realizează prin intermediul fibrelor de proiecție grupate în șase mănunchiuri pereche numite pedunculi cerebeloși:

1. Pedunculii cerebeloși inferiori (corpii restiformi) sunt alcătuiți predominant din fibre aferente și fibre eferente care se duc către măduvă, bulb și punte. Fibrele aferente sunt reprezentate de: fasciculul spinocerebelos posterior (Flechsig) care își are originea în coloana Clarke din măduvă și în bulb, fasciculul olivocerebelos, fibrele arciforme cu origine în nucleii Goll și Burdach, fasciculul vestibulocerebelos cu originea în olivele bulbare, fibre din nervii cranieni - perechile aV-a, a IX-a și a X-a, fasciculul tectocerebelos cu originea în tuberculii cvadrigemeni. Prin aceste căi cerebelul primește impulsuri senzoriale de tip proprioceptiv și vestibular, precum și semnale motorii din cadrul sistemului extrapiramidal.

Fibrele eferente sunt alcătuite din: a) fasciculul cerebrovestibular, cu originea în nucleii fastigiali care merg la nucleii vestibulari și substanța reticulată a bulbului; b) fasciculul cerebeloolivar, care merge la olivele bulbare; și c) fasciculul fastigiobulbar, spinal și cel fastigiovestibular (direct și încrucișat).

Pedunculul cerebelos inferior este continuarea fasciculului posterior al măduvei, care la unghiul inferior al fosei romboide se desparte și divergând în sus, trece pe lângă unghiul lateral al ventriculului al patrulea și apoi se continuă în masa cerebelului atingând pedunculii mijlocii.

2. Pedunculii cerebeloși mijlocii (brachium pontis) leagă cerebelul de punte.

Pornesc de la locul de origine aparentă a nervilor trigemeni (perechea a V-a) incluzând fibre pontocerebeloase, fibre care fac legătura între scoarța cerebeloasă a unei hemisfere și fibre care leagă nucleii cerebeloși ai unei hemisfere de nucleii cerebeloși din hemisfera opusă. De asemenea, în pedunculii mijlocii se găsesc și fibre corticocerebeloase, care leagă scoarța cerebrală de cerebel.

Pedunculii cerebeloși mijlocii sunt cele mai voluminoase cordoane, deoarece au cel mai mare număr de fibre.

3. Pedunculii cerebeloși superiori (brachium conjunctivum) sunt alcătuiți din fibre aferente și eferente. Fibrele eferente merg la măduva spinării, trunchiul cerebral, talamus și scoarța cerebrală (fasciculul cerebelorubral, cerebelotalamic, etc). Își au originea în nucleii dințiți, globiformi și emboliformi. Fibrele aferente vin de la măduvă, trunchiul cerebral și scoarța cerebrală, fiind reprezentate prin fasciculul spinocerebelos anterior (Gowers), prin care se transmit semnale ale sensibilității proprioceptive inconștiente și prin fasciculul tectocerebelos anterior, care își are originea în tuberculul cvadrigemen superior și conduce impulsuri la retină, reprezentând o cale a reflexelor opticocerebeloase. Pedunculul cerebelos superior este cel mai puțin voluminos deoarece cuprinde cel mai mic număr de fibre.

**Substanța cenușie** este reprezentată la exterior de o mantie care învelește hemisferele cerebeloase și care poartă numele de scoarță cerebeloasă. Privită în secțiune transversală la microscop, această formațiune ne dezvăluie o organizare stratificată, care rezultă în primul rând din diversitatea morfologică a celulelor nervoase, iar în al doilea rând din modul lor de grupare.



Prin urmare, cortexul cerebelos este o structură simplă, care are trei straturi: molecular, ganglionar și granular, ce conțin cinci tipuri de neuroni: stelați, în formă de coș, Purkinje, Golgi și celule granulare (Fig. 57).

a. Stratul cel mai exterior sau molecular este format din celule granulare și axoni paraleli cu axul longitudinal al folium-ului. El mai conține celule împrăștiate sub formă de coș și stelate, care funcționează ca interneuroni și, de asemenea, dendritele neuronilor Purkinje subiacenți. La nivelul acestui strat se realizează sinapse între diferite celule ale scoarței cerebeloase. Axonii celulelor în formă de coș din porțiunea inferioară a stratului molecular au un traiect orizontal, iar colateralele lor abundente, învâluie corpurile și segmentele inițiale ale axonilor celulelor Purkinje.

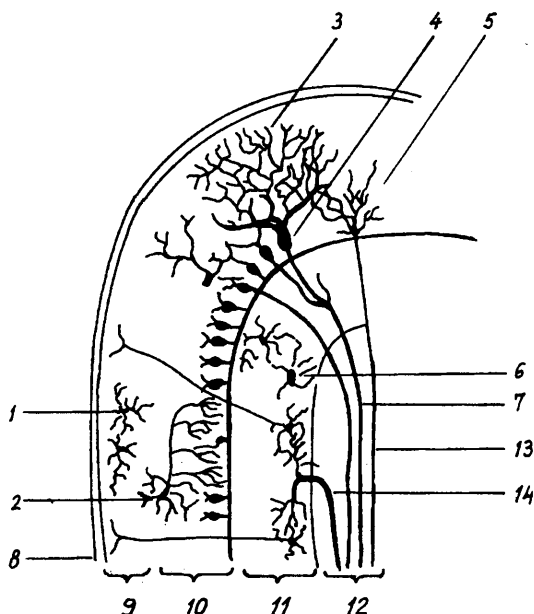
b. Stratul ganglionar (intermediar) este alcătuit din neuroni tipici pentru scoarța cerebeloasă, denumiți celule Purkinje. Acestea sunt de dimensiuni mari (50-80mm) au formă de pară și sunt așezate unele lângă altele într-un singur strat. Porțiunea bazală este îndreptată către stratul molecular, unde dezvoltă o bogată ramificație dendritică. Dendritele celulelor Purkinje au porțiuni receptoare morfologic distincte, care fac contact cu terminațiile fibrelor cățărătoare și porțiunea ramificată, intrând în contact cu terminațiile presinaptice ale fibrelor paralele. Pe arborele dendritic al unei celule Purkinje se formează aproximativ 60 de mii de contacte sinaptice de la fibrele paralele (Fox și Bernard, 1957), care în plus intră în legătură cu celulele stelate și celulele în formă de coș.

Axonii neuronilor Purkinje se îndreaptă în jos, în substanța albă subiacentă. Ei reprezintă singura eferență a cortexului cerebelos.

Fibrele recurente din axonii Purkinje vin prin substanța albă și, ajungând la nivelul celulelor lui Purkinje, se ramifică și se înfășoară împrejurul acestora, în contact strâns atât cu corpul celulei, cât și cu ramificațiile dendritice. Acestea se numesc fibre cățărătoare. Ito (1984) a descoperit că toți neuronii Purkinje sunt inhibitori și că ei utilizează ca neurotransmițător acidul gama-aminobutiric (GABA).

c. Stratul granular (intern), format din corpurile celulelor granulare, cu dendrite în formă de ghiare și axoni orientați în sus. Numărul lor, de aproximativ  $10^{11}$ , depășește totalul neuronilor din cortexul cerebral. De asemenea, aici se găsesc celulele Golgi, ai căror axoni urcă tot spre stratul molecular. Stratul granular conține și mici spații clare numite glomeruli, unde celulele stratului granular formează contacte sinaptice complexe cu expansiunile bulboase ale fibrelor (mușchiulare) aferente.

Corpii celulelor granulare au axoni care se ridică în stratul molecular, aproape de suprafață unde se dihotomizează, trimițând două ramuri opuse, paralele cu direcția circumvoluției, dar în sens transversal. Colateralele acestora ating un rând de celule Purkinje, asemănător fibrelor telegrafice suspendate pe stâlpi. Alte fibre aferente se prezintă sub formă de fibre mușchiulare cu o ramificație bogată care are în stratul granular mai multe terminații în formă de arborizații peniciliforme, ce amintesc de aspectul mușchiului de copac.



**Fig. 57.** Structura citoarhitectonică a scoarței cerebelului

1. Celula stelată din stratul molecular; 2. Celulele în formă de coș; 3. Dendritele celulelor lui Purkinje; 4. Celulă Purkinje; 5. Celulă Golgi; 6. Celulă granulară (stratul granular intern); 7. Celulele cățărătoare aferente; 8. Pia mater; 9. Stratul molecular; 10. Stratul celulelor Purkinje; 11. Stratul granular; 12. Substanța albă; 13. Axon aferent cu terminație în fibră cățărătoare; 14. Axon aferent cu formație mușchiulară.

Influxurile nervoase urmează calea fibrelor aferente care se termină direct (fibre cățărătoare) sau prin intermediul celulelor granulare (fibre mușchiulare) pe celulele Purkinje. Celula Purkinje transmite impulsul la nucleii cerebeloși, iar de aici fibrele eferente îl conduc mai departe. Impulsurile se distribuie în sens transversal prin celulele granulare paralele și în sens sagital prin celulele în formă de coș.

**Funcția scoarței cerebeloase.** Informația cerebeloasă acționează inițial asupra nucleilor profunzi, care împreună cu nucleii vestibulari transmit mai departe toate outputurile provenite de la cerebel. Activitatea celulelor Purkinje, singurul output de la cortexul cerebelos, este determinat de două inputuri aferente excitatorii: fibrele mușchiulare (Mossy fibres) și fibrele agățătoare sau cățărătoare (climbing fibres).

Fibrele mușchiulare și agățătoare (cățărătoare) au origini diferite, se termină în cerebel în locuri diferite și au roluri funcționale diferite. Ambele trimit ramuri axonale colaterale la nucleii cerebeloși profunzi. Aceste căi colaterale activează neuronii nucleilor profunzi, care fac parte din circuitul cerebelos primar. Acest circuit primar este modulată apoi de acțiunea inhibitoare a cortexului cerebelos, mediată de neuroni Purkinje.

Fibrele mușchiulare (asemănătoare mușchiului de copac) reprezintă inputul aferent major. Ele provin din diferiți nucleii ai trunchiului cerebral și din neuronii măduvei spinării, care dau naștere tractului spinocerebelos. Fibrele mușchiulare influențează neuronii Purkinje indirect, prin intermediul sinapselor cu celulele granulare, care sunt interneuroni excitatori ai glomerulilor cerebeloși. Căile fibrelor



mușchiulare activate de stimulii periferici tipici, activează grupurile de celule granulare locale.

Axonii celulelor granulare urcă în stratul molecular, iar pe traectul lor fac conexiuni excitatoare puternice cu celulele Purkinje din apropiere. În stratul molecular axonii celulelor granulare se bifurcă și dau naștere fibrelor paralele, care se extind pe distanță de câțiva milimetri de-a lungul foliei cerebeloase. Fibrele paralele intersectează dendritele celulelor Purkinje, orientate perpendicular pe primele. Fiecare celulă Purkinje primește inputuri de la aproximativ 200.000 de fibre paralele, ce aparțin celulelor granulare, iar fiecare celulă granulară colectează inputuri de la mai multe fibre mușchiulare.

Fibrele mușchiulare au aferente de la cortexul cerebral și de la nucleii pontini, vestibulari și trigeminali.

Fibrele cățărătoare își au originea în nucleul olivar inferior din bulb și furnizează inputuri excitatoare. Această denumire se datorează morfologiei terminațiilor sale pe neuronii Purkinje. Axonii lor intră în cortex și se înfășoară în jurul somei și al dendritelor neuronilor lui Purkinje, unde fac numeroase contacte sinaptice, inițiale fiind cele din porțiunea proximală a dendritelor. Toate sinapsele lor sunt excitatoare. Fiecare fibră cățărătoare contactează numai 1-10 neuroni Purkinje, fiecare neuron Purkinje primind inputuri sinaptice numai de la o singură fibră cățărătoare. Conexiunile sinaptice făcute de fibrele cățărătoare pe neuronii Purkinje sunt unele din cele mai puternice din sistemul nervos.

Un singur potențial de acțiune dintr-o fibră cățărătoare provoacă un foarte mare potențial postsinaptic excitator atât în somă, cât și în dendritele celulelor Purkinje, declanșând o mare acțiune potențială urmată de acțiuni potențiale mici cu frecvență înaltă (Gibson și colab., 1987; Thach și colab., 1991). Aceste grupări caracteristice poartă numele de vârf complex (complex spike) și se asociază cu un accentuat influx de  $Ca^{2+}$  în neuronii Purkinje. Inputul fibrelor mușchiulare dă potențiale postsinaptice excitatoare mici. Sumarea spațială și temporală a acestor potențiale postsinaptice mai mici sunt cerute de celulele Purkinje pentru a produce un singur potențial de acțiune, denumit vârf simplu (simple spike) (Voogd și Bigare, 1980; Llinas, 1981; Adams și Victor, 1989).

Inputurile fibrelor mușchiulare și cățărătoare sunt modulate separat de stimulările senzoriale și de actele motorii. Neuronii care dau naștere fibrelor mușchiulare și celulelor granulare descarcă spontan într-un procent ridicat, producând în neuronii Purkinje 50- 100 vârfuri pe secundă. Stimulii senzoriali sau mișcările voluntare ce acționează prin intermediul fibrelor mușchiulare pot modula aceste descărcări, controlând astfel, în orice moment, rata descărcărilor celulelor Purkinje.

În contrast, neuronii nucleului olivar inferior, care dau naștere fibrelor cățărătoare, descarcă spontan cu o rată scăzută, producând în medie un vârf complex pe secundă în celula Purkinje. Stimulii senzoriali sau mișcările provoacă numai unul sau două vârfuri complexe. Deoarece sumările spațială și temporală sunt cerute în mod normal pentru a produce efecte semnificative în neuronii postsinaptici, este imposibil ca descărcarea cu frecvență joasă rezultată din

variațiile activității fibrelor cățărătoare să aibă o influență majoră asupra neuronilor țintă constituiți din celulele Purkinje. Oricum, inputurile fibrelor cățărătoare către celulele Purkinje, importante pentru modularea efectului fibrelor mușchiulare pe celulele Purkinje, acționează prin două căi distincte. Prin mecanisme care nu sunt pe deplin înțelese, fibrele cățărătoare pot întări în mod tranzient efectul inputului fibrelor mușchiulare pe celulele Purkinje. Apoi, fibrele cățărătoare pot produce o depresiune de lungă durată a eficacității inputurilor selecționate ale fibrelor mușchiulare prin intermediul unei acțiuni heterosinaptice, responsabilă pentru unele forme de învățare motorie (Ghez, 1991).

Cortexul cerebelos primește și el aferențe difuze de la fibrele aminergice, care iau naștere din două grupe nucleare ale trunchiului cerebral, nucleii rafeului și locus ceruleus. Proiecțiile nucleilor rafeului sunt serotonergice și se termină în cele două straturi, granular și molecular. Proiecțiile locusului ceruleus sunt noradrenergice și se termină ca un plex în toate cele trei straturi ale cortexului cerebelos. Ambele inputuri au o întinsă acțiune modulatorie. Prin urmare, celulele Purkinje furnizează outputuri cortexului cerebral și primesc inputuri excitatoare de la trei sisteme de fibre.

Activitatea neuronilor Purkinje este modulată de trei tipuri de interneuroni inhibitori: celulele stelate și celulele sub formă de coș din stratul molecular și celulele Golgi din stratul granular. Ca și celulele Purkinje, celulele sub formă de coș și celulele stelate primesc conexiuni excitatoare de la fibrele paralele (axonii celulelor granulare).

Celulele stelate au axoni scurți, care contactează în stratul molecular dendritele celulelor Purkinje din apropiere, în timp ce axonii celulelor sub formă de coș urcă perpendicular către fibrele paralele și contactează corpul celulelor Purkinje în porțiunea lor distală. Ca rezultat, când un grup de celule paralele excită un rând de neuroni Purkinje și celulele în formă de coș din apropiere, ultimile inhibă neuronii Purkinje din afara razei de excitație (Ghez, 1991). Aceasta duce la crearea unui câmp de activitate similar antagonismului din jurul unui centru, asemănător celui pe care noi îl întâlnim la neuronii senzoriali.

Al treilea interneuron inhibitor, celula Golgi din stratul granular, are arborele dendritic în stratul molecular, unde primește principalul său input excitator din fibrele paralele. Terminalele celulelor Golgi din stratul granular se distribuie celulelor granulare ca sinapse axodendritice în glomeruli. În acest mod, neuronii Golgi suprimă excitația celulelor granulare primită prin intermediul inputurilor fibrelor mușchiulare și reduce durata excitației primită de celulele Purkinje prin fibrele paralele. Astfel, neuronii Golgi par să utilizeze neurotransmițătorul GABA (Chan-Palay și Palay, 1984; Gravel și Hawkes, 1990). Prin urmare, celulele Purkinje sunt inhibitate de interneuronii locali.

**Substanța albă** este formată din fibre mielinice, care din punct de vedere funcțional se împart în fibre de asociere, fibre comisurale și fibre de proiecție. Primele asigură transmiterea informației de la o zonă la alta în interiorul aceleiași emisfere cerebeloasă sau de la scoarța cerebeloasă la nucleii cerebeloși din



profundimea substanței albe. Cele comisurale mediază transmiterea informației de la o zonă a unei hemisfere cerebeloase la zona simetrică din hemisfera opusă. Fibrele de proiecție permit comunicarea și interacțiunea funcțională a cerebelului cu celelalte formațiuni ale SNC. Pe o secțiune mediosagitală putem vedea arborele vieții (*arbor vitae*), adică o imagine având ca schelet substanța albă și ca înveliș un strat cortical de substanță cenușie cu o grosime de 1-2mm. Miezul este alcătuit din corpul medular, din care se ramifică lame albe din ce în ce mai subțiri acoperite cu cortex cerebelos. Circumvoluțiile, denumite foi, sunt tangente și presate unele în altele așa încât pe secțiune capătă un aspect colțuros.

- În substanța albă se proliferază o serie de nucleii de substanță cenușie dispuși pereche atât în vermis, cât și în hemisferele cerebeloase. Sunt patru asemenea perechi de nucleii cerebeloși: 1. nucleii fastigiali (formațiuni paleocerebeloase) localizați în vermis de o parte și de alta a liniei mediane, în acoperișul ventriculului IV. Ei primesc fibre din scoarța cerebeloasă a vermisului și sunt în legătură prin intermediul aferentelor cu tectum-ul, cu măduva spinării, cu nucleii vestibulari și cu substanța reticulată a trunchiului cerebral; 2. nucleii globulari, localizați în hemisferele cerebeloase, unul în hemisfera stângă, altul în hemisfera dreaptă, lateral de nucleii fastigiali, primesc fibre din scoarța cerebeloasă din imediata apropiere a vermisului. Proiecțiile nucleilor globos și emboliform sunt, de asemenea, destinate nucleului roșu homolateral și nucleului ventrolateral din talamus; 3. nucleii dințați (dantelați) aflați lateral de nucleii globulari (globoși) sunt cei mai voluminoși situându-se aproximativ în centrul hemisferei cerebeloase. Aceste formațiuni neocerebeloase, care-și trimit eferențe la nucleul roșu, talamus și globus palidus, seamănă cu nucleul olivar inferior.

Axonii ce pleacă din nucleul dințat traversează pedunculul cerebelos superior și încrucișează linia mediană. Unii dintre ei fac sinapsă cu neuronii din nucleul roșu, dar majoritatea își urmează traseul ajungând în nucleul ventrolateral din talamus, el însuși conectat masiv cu aria motorie primară și cu aria motorie suplimentară. Recent, Middleton și Strick (1994) au demonstrat cu ajutorul unei tulpini de virus herpetic ce permite marcatul transsinaptic, existența unor proiecții ale nucleului dințat în ariile de asociație prefrontale prin intermediul unor relele talamice.

Pe secțiune se prezintă ca o linie dințată, iar în spațiu au aspectul unei punți cu suprafața plină de plicaturi (dantelată). Medial, are o deschidere numită hilul nucleului dințat, prin care substanța albă din afară se continuă cu substanța albă dinăuntrul nucleului; 4. nucleii emboliformi situați posterior de nucleii globulari, în vecinătatea imediată și medială a hilului nucleilor dințați, seamănă cu niște dopuri (*ambolus*= *dop*) (Fig. 58).

Majoritatea căilor aferente cerebeloase pleacă din scoarța cerebeloasă și se întrerup în nucleii cerebeloși. Din nucleii cerebeloși pornesc fascicule de fibre care leagă cerebelul de celelalte formațiuni ale SNC.

Numărul aferentelor cerebeloase este mult superior celui al eferentelor (la om este de 40 de ori mai mare), ceea ce sugerează o convergență a informației aferente.

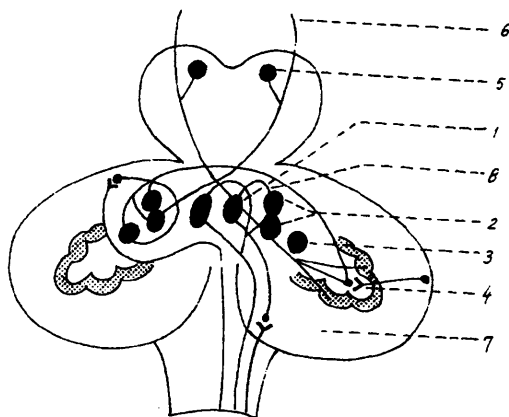


Fig. 58. Nucleii cerebeloși.

1. Nucleul fastigial; 2. Nucleii globoși;
3. Nucleul emboliform; 4. Nucleul dințat;
5. Nucleul roșu; 6. Fibre către talamus și nucleul roșu; 7. Tractul fastiglobular;
8. Tractul unciat al lui Russell

Principalele aferențe cerebeloase sunt vestibulare, spinale, cerebrale și olivare. Primele, directe sau indirecte (cu releu în nucleii vestibulari), ajung la lobul floculonodular. Aferențele spinale, și ele directe sau indirecte, se proiectează pe vermis. Aferențele necorticale, deosebit de numeroase (aproximativ 20 milioane de fiecare parte), iau calea fasciculelor corticopontine și traversează capsula internă și pedunculii cerebrali (Leiner și colab. 1986). Ele fac sinapsă cu nucleii punții, traversează linia mediană, iau calea pedunculilor cerebeloși mijlocii și se proiectează în partea laterală a hemisferelor. Acestea provin nu numai din ariile corticale motorii, ci și din regiunile neocorticale care intervin în cunoaștere. Partea intermediară dintre vermis și hemisfere primește simultan informații spinale și neocorticale. Aferențele vestibulare spinale și neocorticale se arborizează în "fibre mușchi de copac", și care fac sinapsă cu numeroase celule granulare, ale căror axoni se divizează în T la nivelul straturii moleculare, formând fibrele paralele. Oliva bulbară primește aferențe spinale, subcorticale (nucleul roșu, coliculii superiori, nucleii pretectali) și corticale. Axonii neuronilor olivari trec în pedunculul cerebelos inferior și dau fibrele agățătoare (cățărătoare), care se întrepătrund cu ramurile arborelui dendritic al celulelor Purkinje. Fiecare celulă Purkinje nu primește decât o fibră cățărătoare, dar un neuron olivar dă naștere mai multor fibre de acest fel (Duyckaerts și Hauw, 1996).

Funcțiile cerebelului sunt multiple. El constituie un centru integrativ important, fiind intercalat între zona receptoare și cea motorie.

În urmă cu aproximativ 70 de ani, Holmes (1930) a sugerat că cerebelul are trei funcții motorii elementare: imitarea mișcării, mișcarea complexă și corecția, adică controlul feedback al acestora. Deci, din punct de vedere clasic, cerebelul este implicat în coordonarea activității motorii, în controlul tonusului muscular și în mecanismele care mențin și influențează echilibrul. De aici rezultă că semnul cardinal al sindromului cerebelos constă în perturbarea mișcărilor secvențiale complexe și în descompunerea mișcărilor. Fiecare mișcare are la bază acțiunea coordonată a unor grupe musculare.



În acest context, agoniștii declanșează mișcarea, iar antagoniștii se relaxează pentru a o facilita. Ceilalți mușchi trebuie să fixeze sau să stabilească anumite articulații pentru a facilita mișcarea dorită. Aceste activități motorii sinergice presupun nu numai o inervație reciprocă complexă, dar și un control al coordonării tonusului muscular și al mișcării. Cerebelul asigură acest control în conexiune directă cu cortexul motor și premotor (Botez și colab., 1996).

Determinarea și descrierea activității cerebeloase au la bază datele experimentale obținute prin metoda decerebelării practică pe animale (câini și maimuțe) și prin observațiile făcute în clinica umană.

Concluzia generală desprinsă din aceste date și observații este aceea că cerebelul îndeplinește cu precădere un rol de reglare motorie. Cea mai importantă este participarea sa la redistribuția fazică a tonusului pe diferitele grupe de mușchi, în funcție de solicitarea acestora, în repaus sau în efectuarea mișcărilor, în păstrarea echilibrului prin coordonarea contracțiilor mușchilor implicați în păstrarea poziției corpului și în execuția mișcărilor cu un grad ridicat de precizie, în coordonarea mișcărilor care alcătuiesc actul mersului (locomoția) și a mișcărilor voluntare.

Potrivit cercetărilor neurocibernetice, cerebelul reprezintă o verigă esențială a feedbackului chinestezico-motor. El constituie deci, un centru integrativ important, fiind intercalat între zona receptoare și cea motorie. Are un rol însemnat în menținerea tonusului muscular și a poziției corpului și asigură interacțiunea mușchilor sinergici și relaxarea necesară a mușchilor antagoniști. Funcția lui normală asigură simetria, sinergia, atât în miostatică, cât și în miodinamică.

Se pare că la nivelul lui se elaborează mesaje de evaluare a amplitudinii, a ritmității, a vitezei, a direcției și a preciziei mișcărilor voluntare, în raport cu obiectivul de atins: apucarea și manipularea adecvată a obiectelor. Este logic ca tulburările majore provocate de afecțiuni și leziuni ale cerebelului să fie cele ale echilibrului, mersului (acesta devenind ebrios și titubant), preciziei, proporționalității și melodicității mișcărilor obiectuale. În afară de acesta, se presupune că cerebelul ar reprezenta și un mecanism de modelare a transmiterii impulsurilor senzoriale către scoarța cerebrală (îndeosebi a celor proprioceptive, vestibulare și tactile) și de reglare a funcțiilor vegetative ale organismului.

Prin urmare, cerebelul poate fi privit ca un ajutor al scoarței cerebrale, menit să integreze toate informațiile legate de mișcare și postură.

Cercetările electrofiziologice au dovedit o strânsă dependență și modulare a activității bioelectrice cerebeloase ca răspuns la aferențele pe care le primește de la celelalte formațiuni ale nevraxului. Activitatea bioelectrică a cerebelului se intensifică în timpul recepționării semnalelor senzoriale (vestibulare și proprioceptive) și al executării mișcărilor, reducându-se în starea de repaus. Important este de menționat că nu toate cele trei straturi ale scoarței cerebeloase posedă un același nivel de activism bioelectric spontan. Se pare că o activitate neuronală ritmică generează stratul celulelor Purkinje și stratul granular intern (Dow și Moruzzi, 1958). Stimulările singulare ritmice aplicate la suprafața scoarței cerebeloase provoacă o depresiune de lungă durată, (Eccles, 1965). Nu s-a putut stabili, suficient de precis, corelația dintre activismul neuronal și cel global.

(sumativ). Totuși s-a constatat că în cazul provocării oscilațiilor ritmice (20-40 cicli/s) pe electrocerebelograma (ECG) sumativă (de suprafață) prin stimularea formațiunii reticulate, perioadei de creștere a electronegativității îi corespunde accelerarea descărcării neuronale (Matsumoto și colab., 1962).

Activitatea bioelectrică ritmică se evidențiază și la nivelul neuronilor din porțiunea rostrală a nucleului fastigial. Însă, spre deosebire de celulele Purkinje, frecvența descărcării lor spontane este mai mică (4-30 impulsuri /s). Potențialul de repaus al celulelor Purkinje variază între 10 și 50μv. Stimularea fibrelor paralele provoacă în aceste celule o hiperpolarizare prelungită (100-200ms), până la 10μv, care potrivit unor ipoteze (Andersen și colab., 1964; Eccles și colab., 1966) reprezintă potențialul postsinaptic inhibitor al lor (PPSI). Intervalul acestei hiperpolarizări coincide cu inhibarea activismului spontan al celulei Purkinje.

În același mod, s-a demonstrat că celulele în formă de coș și celulele stelate reprezintă elemente intermediare, care participă la generarea PPSI în celulele Purkinje. Activismul evocat a fost cel mai temeinic studiat în contextul stimulărilor tactile.

S-a stabilit că prima arie corticală a cerebelului, care primește impulsurile tactile din regiunea caudală (la pisică și maimuță), se situează în însăși porțiunea orală a cerebelului (lingula). Aria care primește impulsurile de la membranele posterioare se situează în lobul central. Cea care recepționează semnalele de la membranele anterioare se localizează în culmen, iar cea care primește semnalele din regiunea gâtului și capului se dispune în lobul simplu (Granit, 1962).

Nivelul activismului electric al cerebelului se modifică semnificativ sub influența excitațiilor adecvate (specifice) ale urechii și ochiului. Aceste modificări se circumscriu cu precădere în limitele structurilor neocerebeloase, fiind mai puțin consistente în formațiunile hemisferice. Se presupune că prima undă a potențialului cerebelos, în cazul excitării exteroceptive, este provocată de descărcarea (salva) care vine din centrul tactil al sistemelor vizual și auditiv și care ajunge la cerebel indirect, prin relelele sinaptice ale structurilor pontine.

Cea de-a doua undă a potențialului cerebelos depinde de răspunsul specific al sistemelor vizual și auditiv din proiecția primară a scoarței cerebrale.

Răspunsurile zonei optice ale scoarței cerebrale sunt însă mai slabe decât cele ale zonei corticale auditive (Fadiga și Papilli, 1964).

Răspunsurile la stimulii auditivi sunt extrem de sensibile la barbiturice, care și în doze foarte mici duc la depresiunea lor totală. Aceste date dovedesc că accesul impulsurilor nervoase de la ochi la scoarța cerebrală este determinată esențialmente de starea funcțională a căilor nespecifice ale trunchiului cerebral. De asemenea, trebuie amintite stimulările olfactive care, ca și cele tactile, activează zona lobului simplu al cerebelului (Dow și Moruzzi, 1958).

Activismul scoarței cerebeloase se modifică și sub influența impulsurilor interoceptive (Kullanda, 1964).

O contribuție importantă la cunoașterea activismului evocat al cerebelului la nivel neuronal a adus-o metoda microelectrozilor.

Stimularea olivei inferioare este secundată de apariția răspunsurilor electrice în diferite zone ale cerebelului. Excitarea olivei inferioare exercită o influență



excitatoare asupra celulelor Purkinje, influență care trece în potențial de acțiune a cărui depolarizare ulterioară este prelungită. Excitarea directă a axonilor celulelor Purkinje (zona perifastigială) provoacă în ei potențialele de acțiune antidromale și sinaptice. Stimularea superficială prealabilă a scoarței cerebeloase inhibă transmiterea impulsurilor antidromice la dendritele celulelor Purkinje, iar mersul temporar al acestei acțiuni inhibitorii corespunde timpului dezvoltării potențialului presinaptic inhibitor (Bremer, 1968).

Folosirea metodei excitării diferitelor structuri senzoriale și a înregistrării modificărilor activismului bioelectric la nivelul cerebelului a contribuit în mod substanțial la precizarea conținutului funcțional al conexiunilor cerebelului cu formațiunile inferioare și supraordonate.

Funcțiile diferitelor porțiuni ale cerebelului au putut fi localizate și pe baza observațiilor clinice, a anatomiei comparate și a studiilor embriologice. Astfel, arhicerebelul (porțiunea cea mai veche) are rolul de a menține individul orientat în spațiu.

Leziunile care interesează cerebelul posterior (nodulus, flocculus și uvula) determină un sindrom caracteristic prin tulburări bilaterale ale locomoției și ale echilibrului (ataxia trunchiului, balansare și mers ebrios). Ataxia cerebeloasă este o tulburare asinergică care atinge mușchii axiali. Poligonul de susținere în timpul mersului este mult lărgit, pacientul are tremurături și tendința să devieze de o parte sau de alta, tulburări care se accentuează la închiderea ochilor, iar răspunsul de stimulare labirintică rotatorie și termică se diminuează sau dispare.

Impulsurile pornite de la labirint ajung la cortexul cerebelos al lobului flocculonodular prin căile vestibulocerebeloase, trec apoi la nucleii fastigiali, pentru ca în final să ajungă pe calea fasciculului unciat la nucleul vestibular lateral (nucleul lui Deiters).

**Paleocerebelul** (lobul anterior al cerebelului) controlează mușchii antigravitaționali ai corpului. Atingerea lobului anterior al cerebelului se traduce în cayul sindromului cerebelos prin hipotonie, adică diminuarea tonusului muscular. La animale, stimularea cerebeloasă produce inhibarea homolaterală a posturii antigravitaționale, iar distrucția determină accentuarea reflexelor de întindere a mușchilor de suport. Stimularea corticală cu frecvențe electrice înalte facilitează contracțiile musculare.

Impulsurile pornite de la mușchii antigravitaționali trec prin tractul spinocerebelos, ajung la culmen și la porțiunea centrală a cortexului cerebelos, apoi la nucleii globos și emboliform, pentru ca în final, via brachium conjunctivum, să ajungă la nucleul roșu.

Se crede că orientarea topografică are loc în porțiunea anterioară a cerebelului, porțiunea caudală a corpului fiind reprezentată anterior, iar porțiunea cefalică a corpului, posterior.

Stimularea lobului cerebelos anterior are efect inhibitor asupra presiunii sanguine crescute care urmează stimulării nervilor senzitivi.

**Neocerebelul** (cea mai nouă porțiune) acționează ca o frână asupra mișcărilor voluntare, asupra celor care necesită o activitate de control sau ordonare și asupra mișcărilor fine ale mâinilor.

Leziunile neocerebeloase (ale hemisferelor cerebeloase și ale nucleului dințat) produc dismetrie, tremor intențional, asinergie și inabilitate în modificarea rapidă a mișcărilor ipsilaterale leziunii cerebeloase.

Asinergia reprezintă o tulburare a mișcărilor coordonate, în care amplitudinea, direcția și chiar forța contracției musculare sunt inadecvate, fără a exista un deficit motor ca atare. În clinică se manifestă prin adiadocochinezie, test evaluat prin mișcări succesive rapide ca supinația și pronația mâinilor și antebrațelor. În cursul leziunilor cerebeloase, nistagmusul reprezintă o expresie a asinergiei la nivelul mișcărilor oculare. Ele sunt reprezentate prin mișcări oscilatorii, în timpul cărora ochii se îndreaptă mai întâi într-o direcție, apoi pentru a corecta mișcarea se întorc rapid în direcția opusă. Este obișnuită și dizartria cerebeloasă, adică tendința de a vorbi în mod exploziv.

Impulsurile plecate din ariile corticale motorie și premotorie (ariile Brodmann 4 și 6) pe calea tractului pontocerebelos ajung la cortexul cerebelos hemisferic, unde sunt puse în legătură cu nucleii dințați.

Pe calea pedunculului cerebelos superior (*Brachium conjunctivum*) impulsurile ajung la nucleul roșu, la talamus și în ultimă instanță înapoi la ariile corticale Brodmann 4 și 6. La primatele superioare, ablația cortexului cerebelos duce la apariția ipsilaterală a inabilității, hipotoniei și a tulburărilor de mers. În cazul ablației și a nucleului dințat simptomele devin mai persistente, asociindu-se cu tremor intențional.

Din aceste date putem constata că, în timp ce lezarea altor structuri motorii produce paralizii sau mișcări involuntare, leziunile cerebeloase produc erori în planificarea și execuția mișcărilor.

Aceste erori se datorează faptului că subregiunile cerebeloase devin incapabile să compare semnalele feedback interne ale mișcării pe care intenționăm să o facem, cu semnalele feedback externe care reflectă mișcarea reală. Pentru generarea semnalelor corectoare, cerebelul trebuie să fie integru și capabil să evalueze aceste erori.

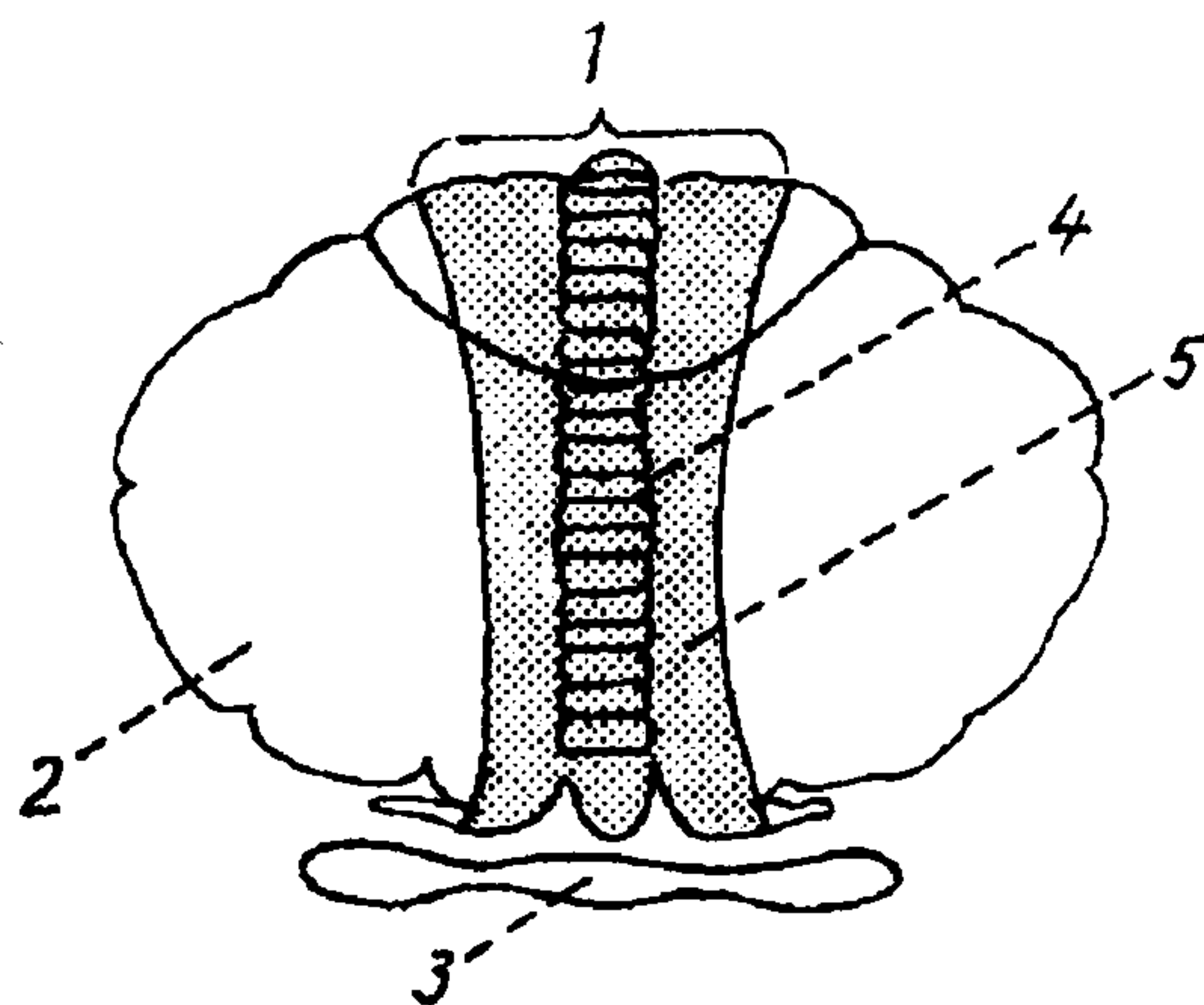
Ajustarea corectoare ia forma controalelor feedback și feed-forward, care operează pe sistemul motor descendent al cortexului și trunchiului cerebral. Oscilațiile și tremurul care apar după leziunile cerebeloase se datorează lipsei posibilității de corectare a mișcărilor propriu-zise sau utilizării defectuase a inputurilor senzitive din sistemul de corectare feedback.

Ulterior, s-a constatat că cerebelul este organizat în trei regiuni funcționale (Fig. 59), fiecare având conexiuni anatomice distincte cu creierul și cu măduva spinării: vestibulocerebelul, spinocerebelul și cerebrocerebelul (Ghez, 1991). Aceste trei regiuni corespund, în mare, subdiviziunilor anatomice filogenetice. Fiecare regiune primește aferențe principale de la surse diferite și trimite eferențe în anumite sectoare ale creierului. Prin lezarea fiecărei regiuni iau naștere sindroame clinice caracteristice.

**Vestibulocerebelul** corespunde lobului floclulonodular. Aceste regiuni primesc inputuri de la nucleii vestibulari și trimit proiecții tot la aceștia.

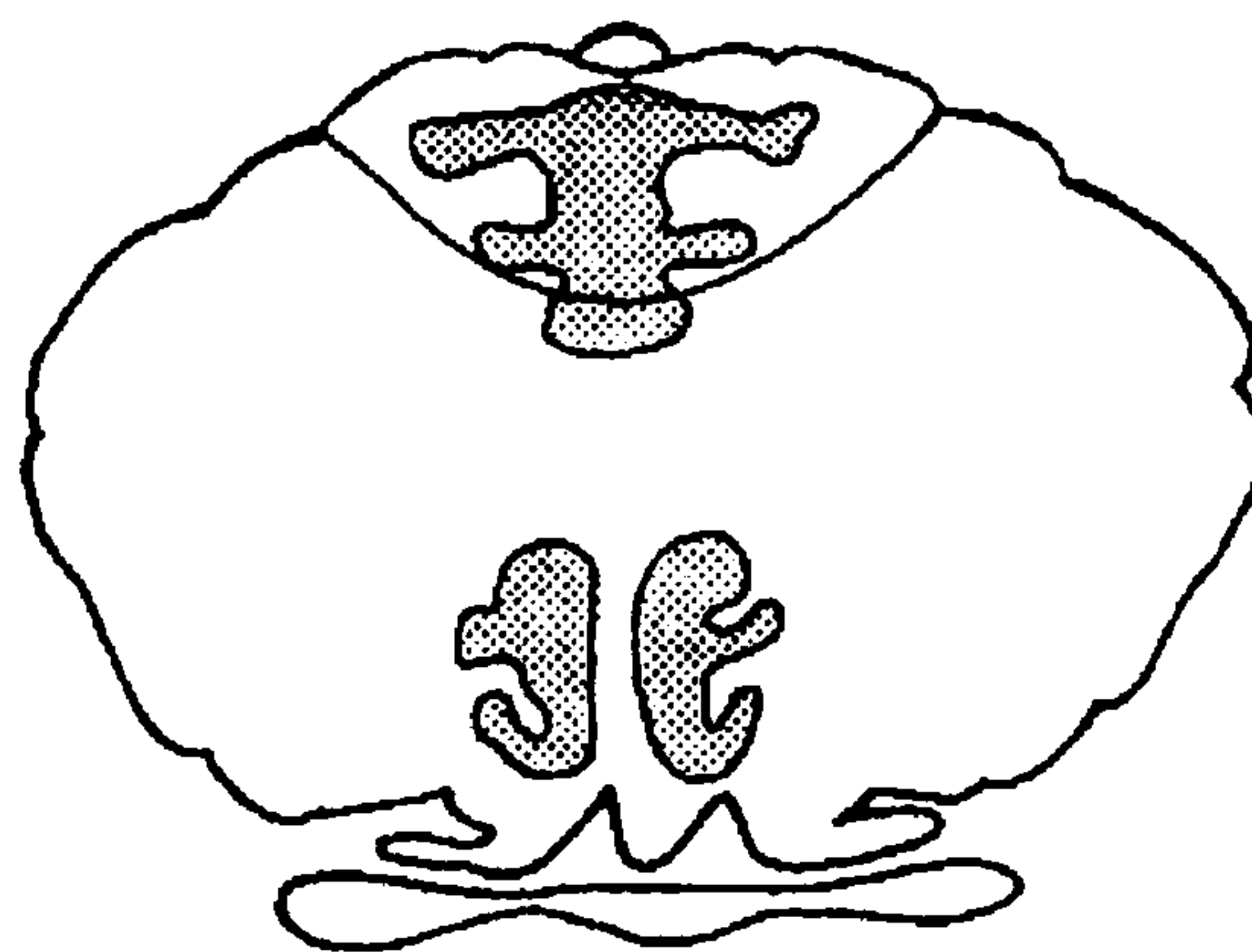
Inputurile dominante vin din două surse: 1) din canalele semicirculare, care semnalizează schimbarea poziției capului și 2) din organele otolitice, care semnalizează orientarea capului în legătură cu gravitația.





**Fig. 59.** Cele trei componente funcționale ale cerebelului

1. *Spinocerebelul*; 2. *Cerebrocerebelul*; 3. *Vestibulocerebelul*; 4. *Vermisul*; 5. *Porțiunea intermediară a hemisferelor*.



**Fig. 60.** Harta somatotopică de pe suprafața celor două regiuni cerebeloase.

Capul și trunchiul sunt localizate median în vermis. Membrele sunt reprezentate lateral de linia mediană în porțiunea intermediară a hemisferelor cerebeloase.

Aceste aferente vestibulare primare pornesc direct din regiunile ganglionului periferic și ajung direct la cortexul cerebelos. Aferentele secundare iau naștere în nucleii vestibulari. Vestibulocerebelul primește, de asemenea, informații vizuale de la nucleul geniculat lateral, de la coliculii superiori și de la cortexul striat. Majoritatea acestora fac sinapsă cu nucleii pontini. Eferentele vestibulocerebelului se proiectează înapoi pe nucleii vestibulari. Această porțiune cerebeloasă apare prima în evoluția vertebratelor.

Vestibulocerebelul uman guvernează mișcările oculare, echilibrul corpului atât în ortostatism, cât și în timpul mersului, și coordonează mișcările ochilor și capului.

Afectarea lobului floclunodular dă tulburări de echilibru, mers ataxic, ortostatism compensator cu baza de susținere lărgită și nistagmus.

**Spinocerebelul** se întinde rostrocaudal prin partea centrală a lobilor anterior și posterior, incluzând două regiuni orientate sagital: vermisul și partea intermediară a hemisferelor. Aceste două regiuni primesc informații senzoriale de la periferie. Denumirea de spinocerebel se datorează faptului că aferentele sale majore vin de la măduva spinării. Principalele sale informații somatosenzoriale sosesc pe calea tracturilor spinocerebeloase. Acestea sunt constituite din "mossy fibres" (fibre mușchiulare), a căror origine se află în nucleii trunchiului cerebral și în neuronii din măduva spinării. Ele influențează indirect neuronii Purkinje prin intermediul sinapselor cu celulele granulare. Acestea sunt interneuroni excitatori ai glomerulilor cerebeloși.

Spinocerebelul primește informații și de la sistemele auditiv, vizual și vestibular. Adrian (1943) și Snider și Stowell (1944) au demonstrat că aceste proiecții aferente au o organizare somatotopică.

Harta corpului se află în două arii diferite ale cortexului spinocerebelos: una în lobul anterior și alta în cel posterior (Fig. 60).

Cele două hărți au o așezare inversă una față de alta. Harta corpului din lobul anterior are picioarele orientate anterior și fața posterior. Harta corpului din

lobul posterior are capul orientat anterior și este localizată în vermis și în partea intermediară a hemisferei.

Spinocerebelul mai primește proiecții organizate topografic de la cortexul motor primar și de la cortexul senzorial somatic. Înregistrarea potențialelor de suprafață din regiuni particulare ale cortexului cerebelos reflectă numai inputurile predominante, neoferind un aspect complet al conexiunilor somatotopice (Shambers și colab., 1978).

Informațiile de la măduva spinării sunt transmise cerebelului prin numeroase căi ce se termină în vermis și în zona intermediară.

Informațiile somatosenzoriale medulare ajung la cortexul cerebelos prin patru căi. Tracturile spinocerebeloase dorsal și ventral reprezintă căi directe provenite de la trunchi și picioare, în timp ce tracturile spinocerebeloase rostral și cuneat sunt căi directe ale gâtului și membrilor superioare. Lundberg și Weight (1971) și Oscarsson (1973) au sugerat că tracturile spinocerebelos ventral și cel dorsal transportă informații fundamentale diferite. Semnalele din tractul spinocerebelos dorsal reflectă fidel evenimentele senzoriale din periferie și furnizează cerebelului informații cu privire la desfășurarea mișcărilor. Semnalele din tractul spinocerebelos ventral reflectă activitatea interneuronilor segmentari, care integrează atât inputurile periferice, cât și pe cele descendente.

Neuronii spinocerebeloși ventrali sunt dirijați în principal de comenzi centrale care reglează ciclul locomotor. Feedback-ul intern permite cerebelului să monitorizeze operațiile circuitelor spinale.

Prin urmare, informațiile senzoriale somatice ajung la spinocerebel direct și indirect pe calea fibrelor mușchiulare.

După cum știm, neuronii Purkinje din vermisul cerebelos și din porțiunea adiacentă intermediară a hemisferei trimit proiecții la diferiți nuclei din profunzime. La rândul lor, acești nuclei controlează diferite componente ale căilor motorii descendente.

Nucleii fastigiali primesc aferente somatotopice organizate de la vermisul din lobii anterior și posterior și proiectează bilateral la trunchiul crebral, formația reticulată și nucleii vestibulari laterali.

Nucleii vestibulari și formația reticulată dau naștere fibrelor care descind către măduva spinării. Nucleii fastigiali au și proiecții ascendente încrucișate, care ajung la nucleul ventrolateral al talamusului, de unde informațiile sunt transmise cortexului motor primar. Prin proiecțiile sale ascendente și descendente, regiunea medială a cerebelului controlează componentele sistemului medial descendent care aparțin trunchiului crebral și cortexului. Această regiune cerebeloasă reglează musculatura axială și proximală. Cortexul părții intermediare a hemisferelor cerebeloase trimite proiecții la nucleii interpositus (cu cele două părți, nucleul emboliform și nucleul globulus), care modulează comenzile corticale pentru mișcare prin intermediul conexiunilor lor cu trunchiul crebral și componenta corticală a sistemului descendent lateral: tracturile corticospinal lateral și rubrospinal. Nucleii interpositus trimit proiecții către porțiunea magnocelulară contralaterală a nucleului roșu pe calea pedunculului cerebelos superior. Multe din aceste fibre ajung rostral în nucleul ventral lateral al talamusului, unde se termină pe proiecțiile neuronilor



din aria brațului cortexului motor. Acționând asupra celulelor de origine ale sistemului corticospinal, zona intermediară și nucleii interpositus își focalizează acțiunea asupra mușchilor distali ai brațului. Proiecțiile cerebeloase se încrucișează în pedunculul cerebelos superior, iar sistemele rubrospinal și corticospinal se încrucișează înainte de terminarea lor în măduvă. Datorită acestui fapt deficitele produse de lezarea zonei intermediare afectează membrele de aceeași parte cu leziunea. Prin urmare, proiecțiile spinocerebeloase aferente controlează sistemele descendente lateral și medial din trunchiul cerebral și din cortexul cerebral (Ghez, 1991).

Spinocerebelul controlează tonusul muscular și execuția mișcării cu ajutorul senzorilor feedback. Importanța spinocerebelului în menținerea tonusului muscular a fost recunoscută prima dată de Holmes (1939), care a descris hipotonia la pacienții cu leziuni cerebeloase. Tulburări similare au fost observate și la maimuțe după lezarea nucleilor interposit sau fastigial. Gilman (1969) a descoperit că activitatea neuronilor motori gama este profund redusă. Faptul că autorul a obținut un dublu input de la periferie și de la cortexul motor și senzorial primar a dus la concluzia că neuronii nucleului interpositus sunt modulați atât de inputurile periferice, cât și de comenzile centrale care declanșează mișcarea.

Reglarea aparatului muscular periferic este necesară pentru compensarea micilor variații de greutate întâlnite în timpul mișcărilor și pentru diminuarea tremorului fiziologic. Acest control este dependent de informațiile pe care le primește spinocerebelul de la ariile corticale motorii și de feedback-ul venit de la periferie și de la măduva spinării, care furnizează detalii cu privire la desfășurarea mișcării.

**Cerebrocerebelul** este reprezentat de partea laterală a hemisferelor cerebeloase, formând a treia regiune sagitală în corpul principal al cerebelului. Inputurile sale cu originea exclusivă în nucleii pontini aduc informații de la cortexul cerebral, iar outputurile sunt transmise prin intermediul nucleului dințat talamusului și de acolo cortexului motor și premotor. Prin urmare, cerebrocerebelul primește cele mai multe inputuri de la cortexul motor și senzorial și de la cortexul premotor și parietal posterior. Aceste regiuni nu proiectează direct pe cerebel, ci pe nucleii pontini, care apoi distribuie informațiile corticale hemisferei cerebeloase contralaterale prin intermediul pedunculului cerebelos mijlociu. Zona laterală a cortexului cerebelos proiectează pe nucleul dințat, care trimite fibre prin pedunculul cerebelos superior nucleului ventral lateral al talamusului. Prin acest nucleu, dințatul influențează regiunea motorie și premotorie a cortexului cerebral.

Nucleul dințat trimite proiecții și la componenta parvocelulară a nucleului roșu. Aceasta nu contribuie la formarea tractului rubrospinal, dar face parte dintr-un circuit feedback complex, care trimite informații către cerebel prin nucleul olivar inferior ipsilateral.

În conjuncție cu regiunea motorie și premotorie a cortexului cerebral cu care este conectat, cerebrocerebelul joacă un rol important în planificarea și inițierea mișcărilor.

Datele fiziologice actuale au demonstrat că mișcările rapide, complexe trebuie să fie programate înaintea executării lor.

Structurile de bază ale programului motor, adică grupele musculare atinse și secvența mușchilor activați nu sunt elaborate în mod exclusiv în cerebel, întrucât pacienții cerebeloși rămân capabili să execute sarcini motorii complexe, cu toate că executarea lor este lentă și ataxică. Inhoff și colab (1989) au demonstrat că programul motor de anticipare depinde de integrarea cerebeloasă. Pacienții cerebeloși sunt capabili să utilizeze informațiile anterioare pentru ameliorarea performanței motorii deja perturbată. În concluzie, Inhoff și colab (1989) sprijină ipoteza potrivit căreia traducerea unei serii de răspunsuri programate într-o acțiune precisă include funcționarea structurilor cerebeloase care organizează secvența răspunsurilor motorii chiar înaintea debutului mișcării.

Părțile laterale ale hemisferelor cerebeloase sunt destinate obținerii preciziei în controlul mișcărilor rapide ale brațelor și implicate în sarcinile care cer o dexteritate fină. Lezarea unilaterală a nucleului dințat sau a cortexului care îl acoperă produce patru feluri de tulburări: 1) întârziere în inițierea și terminarea mișcării; 2) tremor terminal la sfârșitul mișcării; 3) tulburări în coordonare temporară a mișcărilor care implică mai multe articulații; și 4) tulburări în coordonarea spațială a mușchilor mâinii și degetelor.

Legat de întârzierea inițierii mișcărilor au fost propuse două mecanisme. Primul se referă la faptul că nucleul dințat furnizează facilitări retrograde neuronilor corticali și subcorticali, astfel încât, după lezarea dințatului comenzile de inițiere a mișcărilor date de neuronii motori pot fi declanșate numai după creșterea perioadei de sumăție.

Alternativ, nucleul dințat (dantelat) poate participa și la transmiterea comenzilor de inițiere a mișcărilor. În încercarea de a face o deosebire între aceste două alternative, Brooks și Thach (1981) au demonstrat că nucleul dințat furnizează informații importante capabile de a declanșa activitatea în cortexul motor primar. Prin urmare, în acest proces participă atât porțiunea laterală a cerebelului, cât și aria corticală premotorie. Comparând modularea dințatului cu cea produsă de neuronii interpositum-ului putem vedea clar diferența dintre ei. Această diferență susține ideea conform căreia cerebrocerebelul contribuie la prepararea mișcărilor, în timp ce spinocerebelul este implicat mai mult în executarea mișcărilor și în feedback-ul ajustării lor.

Rolul jucat de cerebrocerebel în programarea mișcărilor este critic pentru mișcărilor poliarticulare și pentru mișcărilor digitale fracționate.

Studiile lui Hore și Flament (1986) cu privire la contribuția cerebelului lateral în mișcare au relevat că inactivarea nucleului dințat disrupe secvențele precise de timp dintre activarea agonistilor și antagoniștilor din timpul mișcărilor rapide normale. Activarea agonistilor este mai lentă și mai prelungită, în timp ce activarea antagoniștilor necesari pentru stoparea mișcării într-un anumit moment este întârziată și prelungită. Ca rezultat, mișcărilor rapide se caracterizează prin depășirea țintei (hipermetrie). Tendința de corectare creează o nouă eroare, astfel încât, în perioada terminală, apare o instabilitate numită tremor terminal.

Aceste simptome apar și la pacienții cu leziuni cerebeloase.

Cerebelul lateral poate îndeplini și o funcție mai generală de timp, care afectează atât performanțele motorii, cât și pe cele cognitive. În acest sens Ivry și



Keele (1989) au descoperit că leziunile cerebeloase se opun pacienților de a produce mișcări secvențiale simple și precise ca timp. Ei s-au întrebat dacă neregularitățile arătate de pacientul cu leziuni cerebeloase reflectă o tulburare a mecanismului de timing central sau o tulburare a timing-ului de executare a mișcării. În final, Ivry și Keele (1989) au considerat că hemisferele cerebeloase sunt implicate în operația de control central de programare a timpului, în timp ce regiunile mediane ale cerebelului sunt responsabile de executarea acestor răspunsuri.

Pacienții cu leziuni laterale nu numai că prezintă deficit legat de timing-ul motor, dar abilitatea lor de a judeca timpul scurs pentru efectuarea probei respective este sever tulburat. De exemplu, ei nu pot spune dacă un ton cu o anumită durată este mai lung sau mai scurt decât altul și nici nu pot evalua viteza mișcării stimulilor. Cercetătorii conchid că pacienții cerebeloși au tulburări în abilitatea de discriminare a micilor diferențe de durată, adică de timing, din punct de vedere perceptiv. Acest fapt permite să se considere că cerebelul are un rol important în controlul percepției și al execuției performanțelor în timp (timing sens). Cerebelul poate fi considerat ca un ceasornic.

După Allen și Tsukahara (1974), ganglionii bazali și cerebelul lateral prelucrează informațiile care își au originea în cortexul asociativ senzorial. Această prelucrare este critică pentru planificarea mișcărilor și pentru prepararea sistemelor motorii pentru acțiune. Eventual, informațiile prelucrate reprezintă comenzi pentru mișcările ieșite din cerebelul lateral și din ganglionii bazali, care se duc la ariile corticale motorie și premotorie. Aceste arii motorii execută mișcări și informează spinocerebelul despre comenzile emise. La rândul său, spinocerebelul corectează erorile care apar sau transformă erorile iminente în comenzi de mișcare.

### **Rolul cerebelului în învățarea senzoriomotorie**

Cerebelul joacă un rol important în învățarea motorie. Informația sosită la cerebel este prelucrată de nucleii profunzi reglați de celulele Purkinje, care își modifică în mod continuu nivelul de inhibiție.

Inputurile pentru celulele Purkinje măresc eficacitatea sinapselor fibrelor mușchiulare de pe acești neuroni, iar fibrele cățăritoare scad activitatea și eficacitatea fibrelor mușchiulare, acționând în sensul corectării greșelilor mișcării reale pe care intenționăm să o efectuăm.

Activitatea fibrelor cățăritoare este modulată în timpul învățării motorii prin reducerea puterii inputurilor fibrelor mușchiulare către neuronii Purkinje prin inhibiție heterosinaptică. Albus (1971) a constatat că fibrele cățăritoare diminuează activitatea fibrelor mușchiulare și că inhibiția heterosinaptică are rolul de a corecta nepotrivirile dintre mișcările pe care intenționăm să le facem și rezultatele obținute.

Diminuarea inputurilor fibrelor mușchiulare, ca urmare a unor stimuli perturbatori, duce la diminuarea bombardării celulelor Purkinje și la creșterea outputul-ui neuronilor nucleilor profunzi, datorită dezinhibiției. Aceste modificări celulare mediază modul de învățare și răspunsul comportamental. Se mai susține

că circuitele cerebeloase pot fi modificate de experiență și de antrenament, factori importanți în învățarea motorie. Keating și Thach (1990) au constatat că inactivitatea farmacologică a cortexului cerebelos împiedică activitatea de adaptare comportamentală, iar lezarea formațiunilor vestibulocerebeloase și a altora barează învățarea motorie.

Unii cercetători au demonstrat că lezarea cerebelului șobolanilor oprește obținerea noilor achiziții și disrupe reflexul condiționat de clipire. Stimulii necondiționați sunt transmiși celulelor Purkinje pe calea fibrelor cățărătoare, fibrele mușchiulare având rol în dirijarea stimulilor condiționați. După repetarea perechilor de stimuli necondiționați și condiționați s-a constatat că ultimii scad rata de descărcare a celulelor Purkinje (Albus, 1971). La rândul lor, acestea cresc descărcarea celulelor nucleare și produc un răspuns condiționat. În acest mod, s-a demonstrat că cerebelul îndeplinește o funcție care depășește controlul mișcărilor. Rolul său în învățarea motorie devine o necesitate, deoarece comportamentul motor cere să fie adaptat în mod constant circumstanțelor mereu schimbătoare, iar acțiunile motorii trebuie să fie planificate înainte de execuție. Din cauza variațiilor întâlnite la nivelul sistemului musculo-scheletal, controlul feed-forward cere calibrarea și ajustarea adaptivă a programului motor. Sanes și colab. (1990) au demonstrat și ei că cerebelul contribuie la învățarea abilității motorii și că aferențele care sosecc la cerebel prin intermediul fibrelor cățărătoare și mușchiulare sunt necesare procesului de învățare motorie.

Prin urmare, cerebelul este un centru crucial în procesul de învățare a mișcărilor, deoarece comportamentul motor normal cere o adaptare constantă la circumstanțele mereu schimbătoare. În acest context, important este rolul fibrelor cățărătoare datorită faptului că impulsurile lor cu frecvență joasă fac ca puterea inputului să aibă o capacitate foarte modestă de transmitere moment-cu-moment a modificărilor informațiilor senzoriale. Aceasta reprezintă o problemă serioasă pentru controlul feedback, dar nu și pentru mecanismul de ajustare adaptivă a operațiilor din sistemul de răspuns, care urmează a fi realizat. Comanda generală a mișcărilor este dată de către centrii cerebrale superiori, iar detaliile de execuție ale acestora se află sub controlul mecanismelor subcorticeale și cerebeloase (Ghez, 1991).

Astfel, plecând de la nucleul dințat, controlul motor este exercitat pe măduva spinării prin intermediul nucleului roșu. A doua buclă a controlului motor include striatul, adică globus pallidus, nucleul ventrolateral al talamusului și cortexul motor.

În concluzie, noile concepte privind mișcărilor și controlul neural al acestora au apărut după publicarea lucrărilor lui Brooks (1981), Towe și Luschei (1981) și Desmedt (1983). Se caută atunci răspuns asupra modului în care cerebelul acționează în menținerea în același timp a posturii mișcării, precum și asupra manierei în care intervine în desfășurarea motricității și în menținerea programelor acesteia. Au apărut astfel noi analize privind: mișcărilor poliarticulare la om (Bizzi și Abend, 1983; Jeannerod și Prablanc, 1983), controlul cortical al acestora la maimuțe (Georgopoulos și colab., 1982) și posibilitatea de învățare a mișcărilor monoarticulare tot la maimuțe (Brooks și colab., 1983). Aceste caracteristici noi



reunite în programe motorii gândite, intenționale depind de răspunsurile precentrale ghidate cerebelos și de transformarea lor în comenzi motorii interne, care pot fi perturbate numai de factorii externi. S-a demonstrat astfel că răspunsurile precentrale organizează și mențin în mod sinergic atât postura, cât și traiectoria optimă a mișcărilor planificate (exemplu pasul în legătură cu viteza).

Erorile de direcție, rată și ordine determinate de disfuncțiile cerebeloase aparțin conceptului traiectoriei introdus de Cook (1980), ca buclă de control supraspinal asupra unei singure mișcări articulare.

Controlul traiectoriei mișcărilor poliarticulare estimat de Abend și colab. (1982) și Bizzi și Abend (1983) semnaleză faptul potrivit căruia creierul guvernează traiectoria printr-un act de mare atenție. Această activitate umană impune o gradare veridică a paternului abstract format din spațiu și timp (Viviani și Terzuolo, 1980). În timp ce paternurile sunt produse de cele mai înalte niveluri ale creierului, gradarea este făcută de formațiunile medii din ierarhia motorie, în care includem cerebelul și cortexul senzoriomotor. Controlul traiectoriei simplifică procesul de gradare prin combinarea direcției, ratei și ordinei într-o singură unitate funcțională: relația direcționării pasului cu schimbarea ratei sale. Astfel, cerebelul acționează ca un ambreiaj între setul motor și execuția motorie.

Mecanismele precentrale suferă o influență lentă numai din partea angrenajului neocerebelos normal. În acest sens, cerebelul propagă intenția individului către mașinăria musculară (Brooks, 1985).

Cortexul precentral împreună cu alte arii corticale (parietale, occipitale) joacă un rol crucial în stabilirea și menținerea traiectoriei mișcării. Subprogramul anticipator de începere și de terminare a mișcărilor intenționale emană din cerebel. În timpul disfuncțiilor cerebeloase, slăbirea întârzierea și oprirea inițierii mișcărilor generate precentral se datorează privării subiectului de acest program.

S-a emis astfel ipoteza conform căreia erorile cerebeloase de direcție, tempou și ordine s-ar datora imposibilității cerebelului de a modula corect ansamblul neuronilor precentrali, care stabilesc parametrii corespunzători ai mișcărilor. În acest fel disfuncția cerebeloasă afectează modalitatea de execuție a mișcărilor programate.

Circuitul cerebro-cerebelos face parte din nivelul mijlociu al ierarhiei motorii, dar primește instrucții de la nivelurile superioare ale cortexului premotor și emite comenzi către nivelurile inferioare prin intermediul cortexului motor și al cerebelului. Acest circuit cerebelos influențează în paralel cortexul motor și trunchiul cerebral, după care formațiunile respective converg către nivelul inferior al SN, către măduva spinării (pasul comun final) și către mușchi. Prin urmare, perturbarea răspunsurilor musculare ale membrilor dependente de respectivul program cu buclă lungă se datorează dereglării descărcării cortexului motor. Aceste răspunsuri precentrale sunt programate și declanșate de descărcările neocerebeloase. La om, calea transcorticală este predominantă. Prin urmare, controlul cerebelo-cerebral al traiectoriei ce combină direcția, tempoul și organizarea unei mișcări intenționale se află într-o strânsă unitate funcțională (Brooks, 1985).

## Neocerebelul și funcțiile non-motorii

Toate ipotezele fiziologice actuale atribuie cerebelului un rol motor. Rolul său cognitiv a fost sugerat recent deoarece nu se cunoșteau funcțiile părților laterale ale hemisferelor cerebeloase, care în prezent par direct implicate în controlul anumitor comportamente nonmotorii. În acest sens, Botez și Barbeau (1971) au luat în considerație rolul cerebelului în inițierea mișcării și în capacitatea acestuia de a contribui la acțiuni voluntare cognitive legate de limbaj. Watson (1978) a emis ipoteza implicării cerebelului în diferite procese psihologice și în procesarea emoțiilor. Apoi, Heath (1977), Cooper și colab. (1978) și Schmähmann (1991) au susținut, fără a proba, posibilitatea intervenției cerebelului în funcțiile cognitive, nonmotorii și în modularea emoției. Neocerebelul, adică lobul posterior, reprezintă partea cea mai dezvoltată și în același timp partea cea mai recentă din punct de vedere filogenetic. Dar, pentru înțelegerea rolului său în comportamentul motor și cognitiv a fost necesară cunoașterea circuitelor cerebeloase. Argumente în favoarea acestora au fost aduse de Botez și colab. (1985) și Leiner și colab. (1986) prin implicarea circuitelor cerebelo-prefrontal și cerebelo-talamo-parietal. După opinia autorilor citați, conexiunile respective ar contribui la apariția anumitor sindroame prefrontale și pseudoparietale. Și sistemele de bucle aferente ale cerebelului pot fi implicate în funcția cognitivă.

Astfel, se știe că proiecțiile fronto-ponto-cerebeloase își au originea atât în cortexul motor, cât și în cortexul asociativ.

Proiecțiile motorii au ca punct de plecare aria motorie primară, adică aria 4, aria motorie suplimentară și aria 6, în timp ce fibrele asociative pornesc din cortexul premotor și prefrontal, adică din ariile 8,9,10,11,12, și 44,45,46,47 Brodmann (Botez și colab. 1996). Nucleii pontini primesc proiecții ale ariilor asociative ale cortexului frontal, ale cortexului parietal posterior și ale girusului temporal superior (Wiesendanger și colab. 1979). La protuberanță sosesc și proiecții paralimbice. Ele își au originea în lobul limbic, în hipotalamus și corpii mamilari. Proiecțiile cerebelului la cortexul cerebral de asociație sunt mai puțin cunoscute decât proiecțiile cortico-pontine (Schmähmann, 1991). Proiecțiile corticale ale nucleului dințat se fac prin intermediul talamusului. Nucleii ventrolateral și intralaminar au proiecții pe cortexul parietal posterior și pe girusul temporal superior, recunoscut pentru rolul său în activitatea cognitivă. Middleton și Strick (1994) au demonstrat că proiecțiile nucleului dințat ajung la nucleul dorso-median și nucleul ventrolateral și de acolo se duc la cortexul fronto-dorso-lateral, adică la aria 46 recunoscută ca având un rol major în planificarea activității intelectuale. Aceiași cercetători au demonstrat existența unei căi pallido-talamo-prefrontale prin intermediul nucleului ventral anterior. Autorii respectivi au mai demonstrat și existența unor circuite închise între cortexul prefrontal, ganglionii bazali și cerebel. Aceste circuite au o funcție mai mult cognitivă decât motorie (Middleton și Strick, 1994).



## Cerebelul și învățarea la animale

Învățarea este procesul de dobândire a cunoștințelor despre lume.

Studiul învățării este centrat pe înțelegerea comportamentului normal și anormal. Învățarea ne permite să înțelegem capacitățile creierului (achiziția și păstrarea informațiilor) și să evaluăm procesele mintale. Învățarea la animale poate fi divizată în două categorii: nonasociativă și asociativă. Învățarea nonasociativă (instrumentală) rezultă din expunerea animalului o dată sau în mod repetat repetat la un singur tip de stimul. Acest procedeu oferă posibilitatea învățării proprietăților stimulului respectiv.

În învățarea nonasociativă, animalul trebuie să învețe un nou răspuns, în scopul de a obține o recompensă sau de a evita o pedeapsă.

Această formă de învățare comportă două tipuri de testări: 1) testările de învățare spațială și 2) testările de învățare non-spațială. În testările de învățare spațială, animalul parcurge un labirint pentru a obține hrana sau pentru a evita un șoc electric. De asemenea, el poate să învețe să se refugieze pe o platformă dacă labirintul este plin cu apă (Lalonde, 1994).

Printre testările de învățare non-spațială există discriminarea vizuală, recunoașterea vizuală și evitarea șocurilor când răspunsul cerut nu reclamă capacitatea animalului de a se orienta în spațiu (Botez și colab., 1996).

În învățarea asociativă (condiționarea calsică sau pavloviană) organismul învață despre relația unui stimul cu alții sau despre relația unui stimul cu comportamentul organismului. Astfel, un stimul neutru, de exemplu un sunet cu intensitate și frecvență determinate, este asociat unui stimul care provoacă un reflex până când stimulul neutru provoacă el însuș același reflex. Un exemplu de leziune specifică ce afectează răspunsul condiționat clasic a fost dat de Thompson (1988) și Thompson și colab. (1983). Ei au studiat la iepure reflexul protector de închidere a membranei nictitante la un jet de aer sau la șoc electric în asociere cu un stimul auditiv (neutru). După mai multe încercări, stimulul neutru provoacă răspunsul condiționat. Lezarea electrolitică a nucleilor profunzi ai cerebelului (interpositus și dințatul) alterează achiziția și desăvârșirea acestei asocieri (Mc Cormick și colab., 1984, Yeo și colab., 1985). Rezultatele acestor experimente arată că cerebelul joacă un rol important în medierea condiționării clipirii și al altor forme de condiționare clasică. Totuși, după Llianas și Welsh (1993) și Bloedel și colab. (1993) deficitul obținut după lezarea nucleilor profunzi nu este provocat de pierderea capacității de învățare, ci mai degrabă de afectarea capacității de a executa răspunsul motor.

**Învățarea spațială** Lashley și Mc Carthy (1926) au afirmat că cerebelectomia totală nu are nici un efect asupra performanțelor obținute de șobolani, pe parcursul unui labirint cu opt intersecții, motivate fiind de evitarea șocurilor. Leziunea cerebeloasă este făcută după antrenarea prealabilă a animalului. Acest rezultat arată că cerebelul nu intervine în reținerea unei sarcini învățate. Recent,

Dehhaqui și colab. (1992) raportează că cerebelectomia totală efectuată la șobolanii care învățaseră să se deplaseze pe o matriță cu găuri conținând hrană provoacă un deficit al reținerii spațiale a parcursului. Cerebelectomia implică, de asemenea, achiziția acestei testări.

Pellegrino și Altman (1979) au provocat disfuncții morfologice ale cerebelului șobolanului cu raze X în diferite perioade ale dezvoltării sale postnatale, după care, la vârsta adultă, au studiat achiziția în testările de alternanță spațială stânga-dreapta, într-un labirint plin cu apă. În acest mod, s-a constatat că disfuncțiile cerebeloase măresc numărul de erori de parcurs fără să acționeze asupra vitezei de înot a animalelor. Autorii conchid că în acest caz este vorba mai degrabă de un deficit navigațional decât de un deficit în executarea răspunsului motor al înotului. Șoarecii Lurcher, cu degenerescență a celulelor granulare și Purkinje, au deficite de coordonare motorie atunci când se deplasează pe o suprafață uscată (Lalonde și colab., 1992). Plasați în apă, ei au puține dificultăți în coordonarea mișcărilor lor de înot (Fortier și colab., 1987). În ciuda acestui fapt, șoarecii cu mutații cerebeloase au deficite navigaționale de natură vizuomotorie (Lalonde și colab., 1988). În raport cu șoarecii normali ieșiți din aceeași sușă, numărul de cvadrante (bazinul fiind împărțit în patru) parcurse și latențele dinaintea atingerii unei platforme vizibile sunt mărite la șoarecii Lurcher.

La șoarecele Staggerer (cu mutații cerebeloase) (Lalonde, 1987) și la șoarecele cu degenerescență a celulelor Purkinje (ped) (Goodlett și colab., 1992) există o disociație între achiziția unei sarcini vizuomotorii cu platformă vizibilă. În anumite situații, aceste mutante cerebeloase sunt deficitare în testarea spațială, dar nu în cea vizuo-motorie. Aceste rezultate arată că cerebelul influențează navigarea animalului în spațiu. Natura deficitului depinde de tipul de mutație studiat (Botez și colab., 1996).

Învățarea non-spațială Rolul cerebelului în învățarea non-spațială este în curs de elucidare. Dehhaqui și colab. (1990) au obținut câteva rezultate negative în performanțele de discriminare vizuală și de recunoaștere vizuală și unele rezultate pozitive în testele de evitare a șocurilor. De exemplu, cerebelectomia la șobolani perturbă achiziția unei testări de evitare activă bidirecțională. În această testare, animalul trebuie să alerge de la un compartiment la altul pentru a evita un șoc electric (Dehhaqui și colab. 1990). Guillaumin și colab. (1991) susțin că cerebelectomia împiedică reținerea unei testări de evitare pasivă. În acest experiment, animalul trebuie să rămână imobil pentru a evita șocul. Steinmetz și colab. (1993) raportează că lezarea nucleului interpositus antrenează deficite în achiziția unui răspuns de apăsare a unui levier pentru evitarea șocurilor, dar nu pentru luarea hranei. Aici trebuie să avem în vedere faptul că unele deficite de orientare spațială apar și după lezarea hipocampusului (Morris și colab. 1982), datorită interacțiunii funcționale care există între aceste două formațiuni (Lalonde, 1994).

Metoda de trasare electrolitică în diferite sisteme anatomo- fiziologice va permite cunoașterea selectivității regiunilor cerebrale în această funcție (Botez și colab., 1996).



## Clinica sindromului pseudo-parietal și pseudo-frontal

Studiile clinice efectuate de Botez și colab. (1996) pe pacienți cu degenerescență olivo-ponto-cerebeloasă sau cu ataxie Friedreich au relevat o creștere a timpilor de reacție vizual și auditiv.

La pacienții cu atingeri cerebeloase bilaterale, Botez (1990, 1993 și 1994) și Botez și colab., (1993 și 1996) au demonstrat că cerebelul interferează cu trei mari grupe de funcții comportamentale: 1) organizarea vizuospațială pentru performanța testărilor concrete, funcție corelată cu atingerea circuitelor parietale; 2) intervenția cerebelului în planificarea și în programarea activității cotidiene, funcție legată de atingerile cerebelo-frontale; și 3) ultima funcție, perturbată în cursul leziunilor cerebeloase bilaterale, este viteza de tratare a informației. Performanțele la timpii de reacție vizual și auditiv au fost deficitare la toți pacienții cu atingeri cerebeloase bilaterale.

Sindromul pseudo-frontal ușor, apărut la pacienții cerebeloși, a fost observat și de El-Award și colab. (1991), Grafman și colab., (1992) și Piez și colab., (1992). Aceștia au notat deficite în testul de alternare, deficit cognitiv de planificare și de creștere a timpului de reacție.

Atingerea atenției selective la pacienții cerebeloși, observată de Akshomoff și colab. (1992), poate fi determinată de atingerea buclelor cerebelo-corticale, în sensul sindromului pseudo-frontal definit mai sus.

Pacienții cerebeloși au abilități intelectuale diminuate, fapt demonstrat prin performanțele slabe obținute la matricele progresive ale lui Raven.

Rolul cerebelului în planificarea și programarea activităților cotidiene ca și în organizarea vizuo-spațială pentru sarcini concrete poate fi mai degrabă indirect prin intermediul căilor cerebelo-corticale atât nervoase, cât și neurochimice (Botez și colab., 1996).

Autorii menționează că pacienții cu ataxie Friedreich au pseudo-sindroame frontale mai puțin pronunțate decât pacienții cu degenerescență olivo-ponto-cerebeloasă, aceasta datorită leziunilor anatoomice diferite din aceste două boli. Botez și colab. (1996) mai arată că pacienții cu leziuni cerebeloase bilaterale prezintă timpi de reacție și de mișcare mult mai mari decât cei ai subiecților din grupul de control.

Rolul structurilor subcorticale în tratarea informației a fost bine delimitat recent. În acest sens pledează și studiile lui Botez (1992, 1993, 1994), în care se sugerează că cerebelul este implicat direct în viteza de tratare a informației, adică în timpul de reacție (vizual, auditiv). La pacienții cerebeloși s-a relevat diminuarea cea mai semnificativă a vitezei de tratare a informației.

Rolul cerebelului în inițierea cuvântului și a limbajului, în memorie, în învățare și în apariția tulburărilor psihiatrice tulburări de dispoziție, tulburări afective, comportament agresiv etc.) nu au putut fi demonstrate la om.

În concluzie, se poate afirma că sindroamele discrete pseudofrontal și pseudoparietal pot fi găsite la pacienții cu leziuni cerebeloase bilaterale. Apoi,

cerebelul poate fi implicat direct în viteza de tratare a informației. Rolul cerebelului în inițierea abilităților lingvistice este bine cunoscut, dar rolul său în înțelegerea limbajului, așa cum a fost conceput de Leiner și colab. (1991), nu a putut fi probat. La cerebeloși s-a demonstrat o diminuare a abilităților intelectuale, iar tulburările de memorie par să fie secundare unui deficit în domeniul performanțelor funcțiilor executive. Deoarece există multe exagerări în domeniul neuropsihologiei cerebelului și a comportamentului său non-motor, este necesar ca aceste evaluări și afirmații să fie făcute cu prudență.

### Cerebelul și moleculele mesager

Tulburările de ordin motor sau cognitiv consecutive leziunilor cerebeloase nu sunt legate numai de circuitele clasice, anatomofiziologice cerebello-corticale, ci și de cele neurochimice. Astfel, El Awar și colab. (1991) au sugerat că anumite tulburări de tip pseudo-frontal care apar în cursul leziunilor cerebeloase, cum ar fi deficitul în testările de alternanță întârziată, pot fi consecința unei pierderi a inervației colinergice la nivelul ariilor orbitare și posibil temporale.

Kish și colab. (1992) au observat la pacienții cu degenerescență olivo-ponto-cerebeloasă, scăderea dopaminei striatale, iar Botez și colab. (1991) și Polinsky și colab. (1988) au constatat diminuarea acidului homovanilic în lichidul cefalo-rahidian.

Deși inervația dopaminergică a cerebelului a fost descoperită mai recent (Panagopoulos și colab., 1992, 1993 și Efthimiopoulos și colab., 1991), se poate presupune că performanțele inferioare în timpul de reacție la pacienții cu leziuni cerebeloase bilaterale pot fi, cel puțin în parte, datorate deficienței dopaminergice. Sawaguchi (1987) a constatat că testările de "go" și "not go", ca și timpul de reacție la animalele experimentale sunt în funcție de nivelul de dopamină din creier și, mai exact, de raportul dintre dopamină și noradrenalină din cortexul frontal. Diminuarea dopaminei antrenează diminuarea timpului de reacție (Amalric și Kool, 1987). Serotonina are efect inhibitor specific asupra acțiunii excitatoare a glutamatului, iar administrarea unor precursori ai serotoninei ameliorează comportamentul pacienților ataxici prin acțiunea lor inhibitoare asupra excitotoxicității glutamatului (Troullas și colab., 1988).

Noradrenalina este diminuată în cortexul cerebelos al pacienților decedați din cauza degenerescenței olivo-ponto-cerebeloase, iar la pacienții cu ataxie Friedreich există, în lichidul cefalo-rahidian, o diminuare a metabolitului noradrenalinei (3-metoxi-4-hidroxifenil-etilen glicol).

La pacienții cu degenerescență olivo-ponto-cerebeloasă și ataxie Friedreich creșterea timpului de reacție și anumite deficite neuropsihologice pot să fie, în parte, consecința unui deficit noradrenergic sau a raportului dopamină/noradrenalină (Botez și colab., 1996).

**Semnalele rapide** se află sub dependența receptorilor ionotropi. Un singur transmițător acționează cu ajutorul unei mulțimi tulburătoare de receptori. Cele



mai rapide efecte sunt mediate de grupul receptorilor ionotropici, care au în structura lor proteică un canal ionic. Legarea transmițătorului de locul specific de recunoaștere duce la modificarea configurației proteice, după care canalele ionice se deschid. Ionul care pătrunde prin canalele respective face celula să devină mai mult sau mai puțin excitabilă. După Batchelor și Garthwaite (1993), glutamatul acționează cel puțin asupra a două tipuri de receptori, AMPA (α-amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxszolepropionate) și NMDA (N-methyl-D-aspartate), denumiri luate de la agonistii săi selectivi. După eliberarea sa din fibrele mușchiulare, glutamatul acționează asupra receptorilor AMPA și NMDA de pe celulele granulare. În contrast, pe sinapsele formate de fibrele cățărătoare și de axonii celulelor granulare (fibrele paralele) cu celulele Purkinje lipsește varietatea NMDA. Activitatea receptorilor AMPA induce un curent interior foarte rapid, al cărui vârf este atins într-o milisecundă. El este antrenat de ioni de sodiu. Deoarece glutamatul se disociază de acești receptori foarte rapid, după care se pierde, curentul (fluxul) devine tranzient, durând numai câteva milisecunde.

Receptorii AMPA sunt legați de semnale foarte rapide ce trec de pe fibrele mușchiulare pe celulele granulare și de pe fibrele paralele și cățărătoare pe celulele Purkinje.

În ciuda faptului că receptorii AMPA din sinapsele fibrelor paralele și cățărătoare cu celulele Purkinje par identice, comportamentul acestor neuroni foarte diferiți depinde de calea care este activată. Acest fapt se datorează anatomiei conexiunilor. Celulele Purkinje posedă un arbore dendritic enorm și o singură fibră cățărătoare pentru fiecare neuron, care activează receptorii AMPA din sinapsele dispersate pe o arie întinsă a acestui arbore. Depolarizarea dendritică ce urmează duce la deschiderea unor canale de tip special cu voltaj sensibil la  $\text{Ca}^{2+}$ , cauzând potențiale de depolarizare secundară și concomitent o creștere a nivelului de  $\text{Ca}^{2+}$  în citoplasma dendritică.

Inputul fibrelor cățărătoare nu este numai extrem de puternic, ci și cu durată mai lungă, deoarece efectele sale țin zeci de milisecunde. Mai mult, semnalele asociate cu  $\text{Ca}^{2+}$  constituie un activator important al diferitelor mecanisme intracelulare. În contrast, un număr mare de fibre paralele (peste 200.000) contactează fiecare celulă Purkinje, ale căror sinapse sunt localizate pe spinii dendritici distali.

Totuși, o fibră individuală are o constituție foarte mică și strict localizată asupra ratei de descărcare a neuronului.

Receptorii NMDA predomină pe sinapsele dintre fibrele mușchiulare și celulele granulare și dintre fibrele paralele și interneuronii inhibitori (celulele sub formă de coș, stelate și Golgi). Ei diferă de receptorii AMPA prin trei caracteristici. Prima se referă la conductanța canalelor asociate care depinde de voltajul membranei, astfel încât în stare normală, la potențialul membranar de repaus (-70mV) apare un curent foarte slab. Acest flux se datorează blocării canalelor de către  $\text{Mg}^{2+}$  extracelular. O dată cu depolarizarea, atragerea  $\text{Mg}^{2+}$  în canale se reduce, iar conductanța ionică crește, ajungând la un maximum de aproximativ -

40mV. A doua se referă la deschiderea destul de lentă a canalelor, fapt care face ca fluxul (curentul) să atingă punctul său maxim în 10ms. Totuși, din cauză că glutamatul se disociază lent de receptorii NMDA (datorită afinității crescute cu care se leagă de aceștia), canalele continuă să se deschidă timp de sute de milisecunde. A treia caracteristică se referă la canalele receptorilor NMDA, care au o înaltă permeabilitate pentru  $\text{Ca}^{2+}$ . Din cauza primei proprietăți, receptorii NMDA nu prea participă la transmiterea sinaptică cu frecvență scăzută, dar în timpul transmiterii cu frecvență înaltă, prelungesc depolarizarea, astfel încât sumarea fluxului NMDA și probabil oboseala inhibiției conduc la punerea în funcție a sistemului NMDA. Rezultatul modificărilor electrice prezintă importanță pentru asocierea influxului de  $\text{Ca}^{2+}$  și pentru mobilizarea sistemului mesager secund.

Inhibiția sinaptică rapidă este mediată de receptorii ionotropi GABA sau de receptorii GABA<sub>A</sub>.

Canalele de la acest nivel conduc  $\text{Cl}^-$ , având ca efect diminuarea rezistenței membranei (diminuarea puterii de depolarizare a curentului excitator) și hiperpolarizarea acesteia, pentru o perioadă de câteva zeci de milisecunde.

Receptorii GABA<sub>A</sub>, care mediază inhibiția, operează la numeroase niveluri ale circuitelor cerebeloase. O inhibiție puternică o exercită celulele sub formă de coș asupra descărcării celulelor Purkinje.

Sinapsele în cauză sunt numeroase și localizate în apropierea segmentului inițial al neuronului, unde sunt generate potențialele de acțiune. În contrast, celulele stelate operează pe arborele dendritic, unde contribuie la integrarea locală a semnalelor. Celulele Golgi produc semnale inhibitorii feed-back și feed-forward în dendritele celulelor granulare. O caracteristică importantă a celulelor Golgi este aceea că multe dintre ele eliberează nu numai GABA, dar și glicină. Cu toate acestea, receptorii inhibitori clasici, la glicină, nu sunt exprimați pe celulele granulare. Există însă din abundență receptori NMDA ceea ce demonstrează că glicina este coagonistă pe receptorii NMDA, ea fiind esențială pentru funcția receptorilor respectivi. În acest mod, celulele Golgi îndeplinesc un dublu rol, acela de suprimare a excitației și de reglare a activității receptorilor NMDA. Pentru înțelegerea modului în care acționează celulele Golgi trebuie determinată cu precizie calea de eliberare a acestor mesageri și cinetica acțiunii lor pe celulele granulare.

**Semnalele lente** se află sub dependența receptorilor metabotropici (Batchelor și Garthwaite, 1993). GABA și glutamatul acționează și pe receptorii metabotropici neocuplați direct cu canalele ionice, precum și pe proteina-G, care reglează activitatea enzimelor intracelulare ce generează moleculele mesagerului secund. Răspunsul durează secunde.

Pentru glutamat, familia receptorilor metabolici (GluRes) este încă în creștere. Una activează fosfolipaza C, care generează două substanțe, inositol-1,4,5-trifosfatul și diacilglicerolul, iar alta provoacă eliberarea  $\text{C}^{2+}$  din depozitul intracelular și stimularea proteinchinazei C, care fosforilează diferite proteine modificându-le astfel proprietățile. Apoi,  $\text{Ca}^{2+}$  însuși poate activa numeroase enzime



și poate influența canalele ionice. Receptorul  $mGluR_1$  este mult concentrat în celulele Purkinje unde numeroase alte enzime asociate cu aceste căi sunt îmbogățite. Probabil că el este responsabil de undele de depolarizare foarte înceată (secundă) observate după activarea repetată a fibrelor paralele. Alt receptor glutamat metabotropic,  $mGluR_2$ , a fost găsit în celulele granulare Golgi, care mediază diminuarea nivelului altui mesager intracelular, cAMP-ul.

GABA acționează și asupra propriului receptor metabotropic, receptorul  $GABA_B$ . Acesta se află în cantitate mare în stratul molecular al cerebelului unde sunt localizate dendritele Purkinje și terminalele fibrelor paralele. În celulele Purkinje, receptorul  $GABA_B$  stimulează inducerea hiperpolarizării lente care la animale este proeminentă.

Există, de asemenea, și receptori  $GABA_B$  presinaptici, a căror activare duce la inhibarea eliberării transmițătorului de la nivelul terminalelor fibrelor paralele și probabil și a altora.

Alți neurotransmițători, cum ar fi norepinefrina, 5-hidroxitriptamina și dopamina, joacă și ei un rol în fiziologia cerebelului. Probabil că ei modulează transmiterea rapidă în interacțiunea cu cascada mesagerului secund.

*Oxidul Nitric* (ON) este un mesager molecular descoperit recent, care operează printr-o cale complet nonconvențională. Spre deosebire de alți mesageri secunzi, ON este un gaz solubil în lipide și astfel, ca și dioxidul de carbon și oxigenul, el poate difuza foarte rapid prin membrana celulară pentru a acționa asupra celulelor din vecinătate.

Intr-adevăr aceasta este principala cale prin care ON acționează în creier și în alte organe. ON este generat de o enzimă complexă, multifuncțională, dependentă de  $Ca^{2+}$ , cunoscută sub numele de ON sintază (ONS). ONS acționează asupra grupului guanidinic al aminoacidului L-argininic pentru a produce L-hidroxiarginina și apoi ON și L-citrulina. Majoritatea ONS se află în granulele cerebeloase, iar cel mai bun stimul pentru activarea sa este influxul de  $Ca^{2+}$  indus de receptorul NMDA. Peste tot, ONS este localizată presinaptic și este produsă după acțiunea potențialelor dependente de influxul  $Ca^{2+}$ . Locul posibil de operare a acestei ultime modalități ar fi fibrele cățărătoare și fibrele paralele (Garthwaite, 1991; Batchelor și Garthwaite, 1993; Ito, 1989).

Din cauza înaltei sale activități ON poate avea numeroase acțiuni, dar cea mai stabilă se referă la stimularea și sintetizarea enzimei GMP ciclice, o guanilat ciclază solubilă. Ulterior, GMP-ul ciclic produce activarea canalelor ionice, activarea protein kinazelor și reglarea nivelului enzimelor AMP-ului ciclic.

**Studiul metabolismului și fluxul sanguin cerebral** a fost făcut prin tehnicile PET, SPECT și cu xenon. Astfel, tomografia cu emisie de pozitroni (PET) a dus la o adevărată explozie a investigațiilor privind modificările locale ale activității cerebrale în timpul aplicării testelor neuropsihologice cognitive (Haxby și colab. 1991).

Rezumând datele obținute de Roland (1993) prin PET la teste care determină modificări ale fluxului sanguin cerebral și ale metabolismului cerebral regional, se

poate afirma că porțiunea laterală a lobului anterior a fost activată (hipermetabolism) prin vibrația, flexia și extensia mâinii, ca și prin secvențe motorii ale degetelor, de învățarea și recunoașterea **tactilă**, în discriminarea **somatosenzorială** și în preperarea unei lecturi de cuvinte repetate sau chiar în limbajul spontan.

Activitatea lobului lateral și posterior al cerebelului a fost observată în timpul învățării tactile, discriminării somatosenzoriale, în încercările cu scopul de a găsi ieșirea dintr-un labirint și, în sfârșit, în asocierea cuvintelor cuplate. Nucleul dințat a fost activat în timpul discriminării somatosenzoriale.

Tomoscintigrafia (SPECT= single photon emission computed tomography), permite analiza calitativă și cantitativă a relațiilor funcționale ale structurilor cerebrale prin compararea activităților radioizotopice studiate atât la nivelul zonelor cerebrale profunde, cât și al celor superficiale sau la nivelul regiunilor subtentoriale în comparație cu cele supratentoriale (Masdeu și colab., 1994).

SPECT a demonstrat o creștere bilaterală a fluxului sanguin cerebral, în cerebel, și în ganglionii bazali în timpul imaginării mentale a unui antrenament de tenis la voluntari normali (Decety și Ingvar, 1990).

Pentru măsurarea fluxului sanguin cerebral se utilizează xenonul 133 inhalat cu ajutorul unei măști modificate. Acest gaz inert servește la măsurarea cantitativă (ml/100/min) a debitului cerebral regional și, în urma eliminării lui rapide, studiile pot fi reluate de mai multe ori în timpul aceleași zile. La subiecții normali care execută mîntal o mișcare grafică cu mîna dreaptă sau stîngă, au fost activate cortexul prefrontal, aria motorie suplimentară și cerebelul (Botez și colab., 1996). Totuși activarea cerebeloasă este întotdeauna însoțită de activarea ariilor corticale primare, unimodale și multimodale, fapt datorită căruia, datele studiilor respective trebuie interpretate cu prudență, deoarece nu putem atribui cerebelului funcții cognitive înalte (ex. Comprehensiunea limbajului, gîndirea etc.).

### **Modificarea de lungă durată a solidității sinaptice: plasticitatea sinaptică**

Supportul primar al învățării și al memoriei derivă din ideea lui Hebb, conform căreia forța (intensitatea) transiterii sinaptice este modificabilă, iar schimbarea acestei proprietăți stă la baza abilității sistemului nervos de a se adapta sau de a învăța o experiență. Se crede că cerebelul participă la anumite forme de învățare motorie prin modificarea sinapselor dintre fibrele paralele și celulele Purkinje.

Durabilitatea modificării acestor sinapse depinde de alte inputuri provenite din fibrele cățărătoare.

Stimularea fibrelor paralele face ca sinapsele să devină pentru un timp (până la 30 de minute) mai intense, dar stimularea concomitentă și a fibrelor cățărătoare reduce selectiv eficacitatea sinapselor fibrelor paralele, efect care durează ore. Acest



fapt a fost denumit depresie pe termen lung (long-term depression-LTD) (Batchelor și Garthwaite, 1993).

LTD pare să fie rezultatul pierderii sensibilității receptorilor AMPA, dar mecanismul care stă la baza acestui fenomen este puțin cunoscut. Aici sunt implicați receptorii ON și metabotropici pentru glutamat.

### **Maladiile cerebeloase dau semne și simptome distincte**

Primele semne și simptome cerebeloase au fost descrise de către Holmes între ani 1920 și 1930. Autorul a descris prezența a trei deficite principale la pacienții cu plăgi cerebeloase provocate de glonț, în primul război mondial.

Primul se referă la hipotonie manifestată prin diminuarea rezistenței la mișcări pasive, prin întârzierea răspunsului de efectuare a unor mișcări rapide, prin inabilitatea opririi rapide a mișcării unui membru și prin producerea reflexelor pendulare.

Al doilea simptom descris de Holmes se referă la ataxie, în care sunt incluse mai multe deficite distinctive: întârzieri în inițierea răspunsului membrului afectat, erori în efectuarea mișcărilor (dismetria), erori cu privire la rata și regularitatea mișcărilor.

Acest deficit, ușor de demonstrat, se referă la imposibilitatea efectuării unor mișcări alternative rapide și ritmice reprezentate prin disdiadocochinezie.

Holmes a mai notat și faptul că acești pacienți comit și erori legate de efectuarea în timp a diferitelor componente ale unei mișcări complexe multiarticulate (decompensarea mișcărilor).

Al treilea simptom se referă la tremorul intențional. Caracteristica tremorului cerebelos rezidă în faptul că el devine mai marcat la terminarea mișcării.

O leziune cerebeloasă produce tulburări la membrele ipsilaterale.

Acest fenomen are loc deoarece căile eferente cerebeloase trec prin pedunculul cerebelos superior. Acesta este încrucișat și perturbă acțiunea sistemului rubrospinal și corticospinal care, de asemenea, se încrucișează. În al doilea rând, organizarea somatotopică a spinocerebelului, lezarea vermisului median și a nucleilor fastigiali produc tulburări în controlul truncal și axial. Acest fapt se manifestă prin titubație (tremur al trunchiului) și ataxia mersului, în care postura are o bază largă de susținere, iar balansul este instabil.

Acești pacienți au disfuncții și în menținerea ortostatismului.

Deoarece controlul facial este localizat în vermis, apar și tulburări în articularea vorbirii (dizartrie) cu neclarități, încetinire și monotonie cunoscute sub denumirea de vorbire sacadată sau uneori explozivă.

O formă de degenerare cerebeloasă corticală care implică lobul anterior (vermisul și aria piciorului), este comună pacienților alcoolici. Caracteristica majoră a acestei boli constă în afectarea picioarelor și deci a mersului.

Membrele superioare rămân relativ normale. În schimb, mersul este ataxic și cu bază de susținere lărgită. În contrast cu ataxia mersului determinată de

leziunile lobului floclonodular, ataxia care acompaniază lezarea lobului vermian anterior nu se ameliorează când pacientul trece de la poziția șezândă la mers. Astfel, acest simptom reprezintă un deficit general, depășind inabilitatea de controlare a mișcării picioarelor în acord cu gravitația. Leziunile mai laterale precum și cele nucleare produc ataxie și tremur.

Tulburările produse de lezarea hemisferelor cerebeloase laterale, a cerebrocerebelului constau în principal în depășirea perioadei normale de inițiere a mișcărilor și în descompunerea mișcărilor poliarticulate. Acestea se manifestă în special la mișcarea articulațiilor distale prin inabilitatea de flexare a unui singur deget în timpul fixării celorlalte.

Cele mai severe tulburări apar în cazul lezării pedunculului cerebelos superior și al nucleilor profunzi. Cu timpul, tulburările cerebeloase tind să se amelioreze, dacă procesul patologic nu progresează.

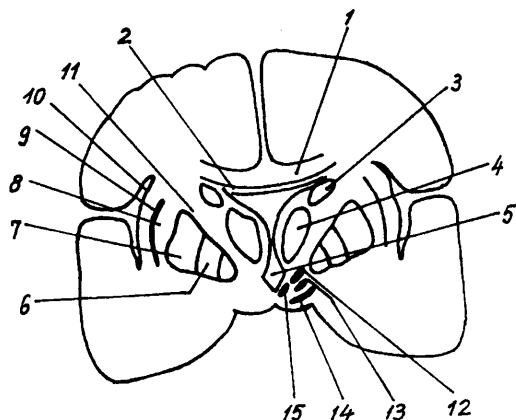
O leziune cerebrală care apare ulterior duce la reaccentuarea semnelor cerebeloase, fapt care sugerează că la tineri funcțiile cerebeloase pot fi preluate de alte formațiuni ale creierului.

## VII. DIENCEFALUL

Structurile diencefalice se situează în continuarea și deasupra mezencefalului, în jurul ventriculului III, fiind acoperite de hemisferele cerebrale (fig. 61).

Limita posterioară a diencefalului este dată de comisura posteroară și de corpii mamilari. Limita anterioară este formată de fața superioară a chiasmei. Limitele laterale sunt constituite din bandelele optice, coada nucleului caudat, stria terminală și din brațul posterior al capsulei interne.

Diencefalul se compune din două formațiuni mari: talamoencefal (talamus, metatalamus, subthalamus, epitalamus) și hipotalamus.



**Fig. 61.** Secțiune cerebrală frontală la nivelul corpurilor mamilari

1. Corpul calos; 2. Ventriculul lateral; 3. Corpul nucleului caudat; 4. Talamusul; 5. Ventriculul trei; 6. Globus pallidus; 7. Putamen; 8. Capsula externă; 9. Claustrum; 10. Capsula extremă; 11. Capsula internă; 12. Zona incertă; 13. Nucleul subthalamic al lui Luys; 14. Substanța neagră; 15. Câmpul lui Forel.



## TALAMENCEFALUL

## TALAMUSUL

Talamusul acoperit în întregime de telencefal și de porțiunea terminală a trunchiului cerebral este alcătuit din două structuri ovoide de substanță nervoasă, care mai poartă numele și de corpi optici.

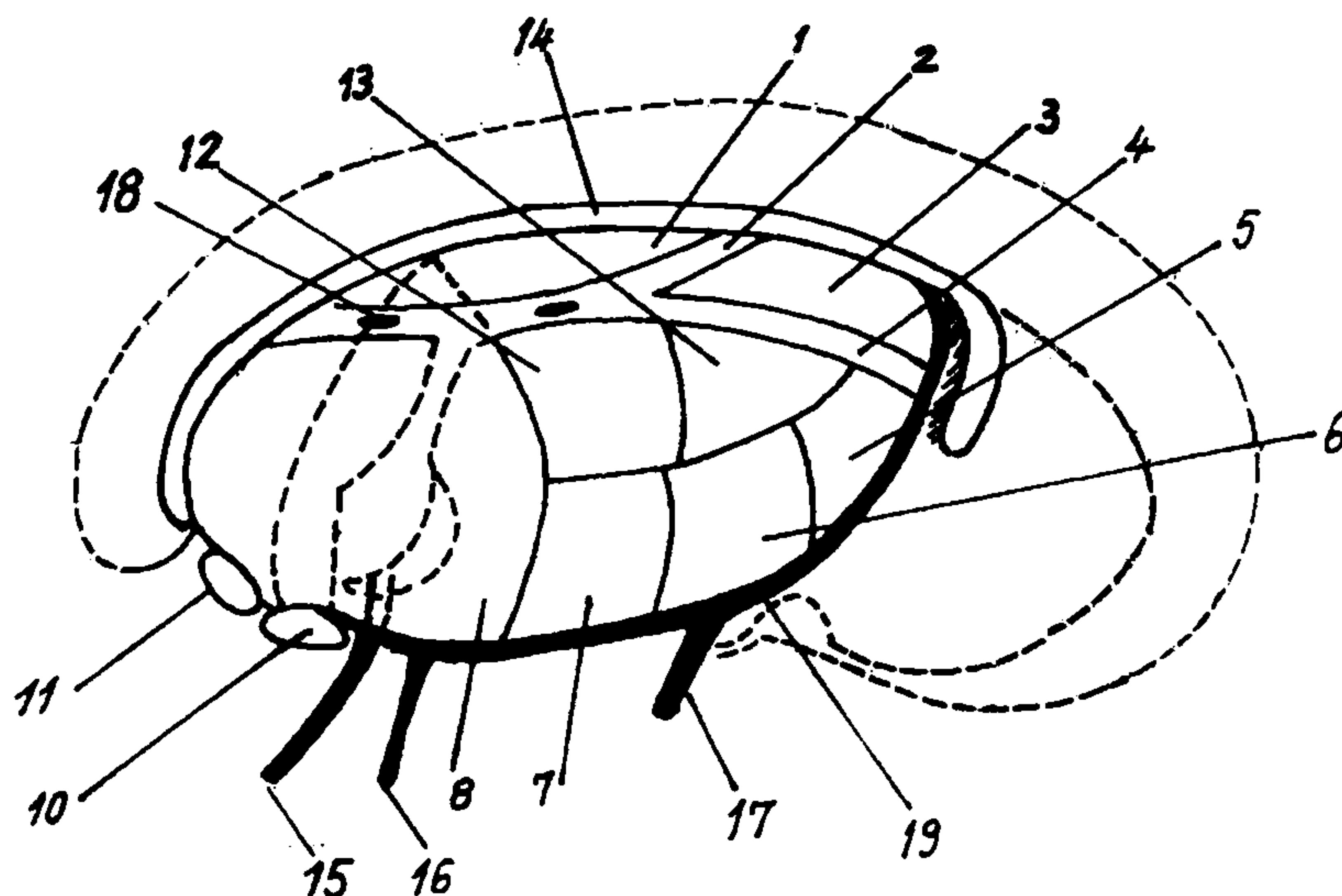
Topografic, el se situează pe fețele laterale (în partea posterioară) ale ventriculului III, fiind separat de hipotalamus prin șanțul hipotalamic ce trece prin acest ventricul. Fața superioară și cea medială sunt ventriculare. Fața medială a talamusului formează peretele lateral al ventriculului III. Celelalte două fețe sunt ascunse. Fața laterală convexă în toate sensurile, superior, este în raport cu trunchiul nucleului caudat, iar mai jos cu capsula internă, mai ales cu brațul ei posterior. Prin intermediul acesteia fața laterală a talamusului vine în raport cu fața dorsomedială a nucleului lentiform. Fața inferioară este separată de partea terminală a pedunculilor cerebrali prin regiunea subtalamică. Extremitatea anterioară a talamusului, mai mică decât cea posterioară, este înconjurată pe partea laterală de capul nucleului caudat și parțial de stâlpii anteriori ai trigonului.

Cu aceștia din urmă delimitează gaura intraventriculară (foramenul Monro). Sub extremitatea anterioară trece comisura albă anterioară care se îndreaptă către capul nucleului caudat și regiunea sublenticulară.

Extremitatea posterioară voluminoasă, rotunjită, ce proemină în răspântia ventriculilor laterali, poartă denumirea de pulvinar. Această extremitate este înconjurată de stâlpii posteriori ai trigonului cerebral. Pe fața inferioară a pulvinarului apar cei doi corpi geniculați ai metatalamusului (fig. 62).

**Fig. 62.** Nucleii majori ai talamusului văzuți pe suprafața dreaptă a creierului

1. Nucleii mediali; 2. Lamina medulară internă; 3. Grupul nuclear anterior; 4. Lamina medulară internă; 5. Nucleul ventral anterior; 6. Nucleul ventral lateral; 7. Nucleul ventral posterior; 8. Pulvinar; 9. Nucleul arcuat; 10. Corpul geniculat lateral (optic); 11. Corpul geniculat medial (acustic); 12. Nucleul posterolateral; 13. Nucleul dorsolateral; 14. Fornix; 15. Fascicule somestezice de la cap; 16. Fascicule somestezice de la corp; 17. Aferențe cerebeloase; 18. Nuclei intralaminari; 19. Nuclei reticulari.



## Nucleii talamici

Walker a descris cinci grupe nucleare talamice.

1) Grupul nuclear anterior (n. anteroventral, n. anterodorsal, n. anteromedial, n. paratenial) separat de restul talamusului de lama medulară internă primește fibre de la corpii mamilari pe calea tractului mamilotalamic și trimite eferențe către cortexul cingulat și cortexul cerebral.

2) Nucleii liniei mediane localizați sub căptușeala ventriculului III și în masa intermedia se conectează cu hipotalamusul și substanța cenușie centrală periapedunculară.

3) Nucleii mediali situați intern de lama medulară internă includ majoritatea substanței cenușii mediale (porțiunea magnocelulară și parvocelulară) și nucleul dorsal medial care trimite eferențe în cortexul polului frontal și la cortexul motor. Nucleul centrului median se conectează cu corpul striat.

4) Masa nucleară laterală cuprinsă între lama medulară externă și internă se întinde de la talamusul anterior până la pulvinar. Această masă include : nucleul reticular situat între lamina medulară externă și capsula internă; nucleul ventricular anterior, care se conectează cu corpul striat; nucleul ventral lateral, care trimite proiecții la cortexul cerebral motor; nucleul ventral posterolateral, care dă eferențe pentru girusul postcentral și primește fibre de la lemniscul medial și de la tractul trigeminal și spinotalamic și nucleul dorsolateral și posterolateral, care se proiectează pe cortexul lobului parietal.

5) Nucleii posteriori includ pulvinarul și corpii geniculați lateral și medial. Pulvinarul este o masă nucleară mare care se conectează cu cortexul lobului temporal și parietal (fig. 63 și 64).

Radiațiile talamice sunt formate din tracturile care emerg de la suprafața laterală a talamusului, intră în capsula internă și se termină în cortexul cerebral.

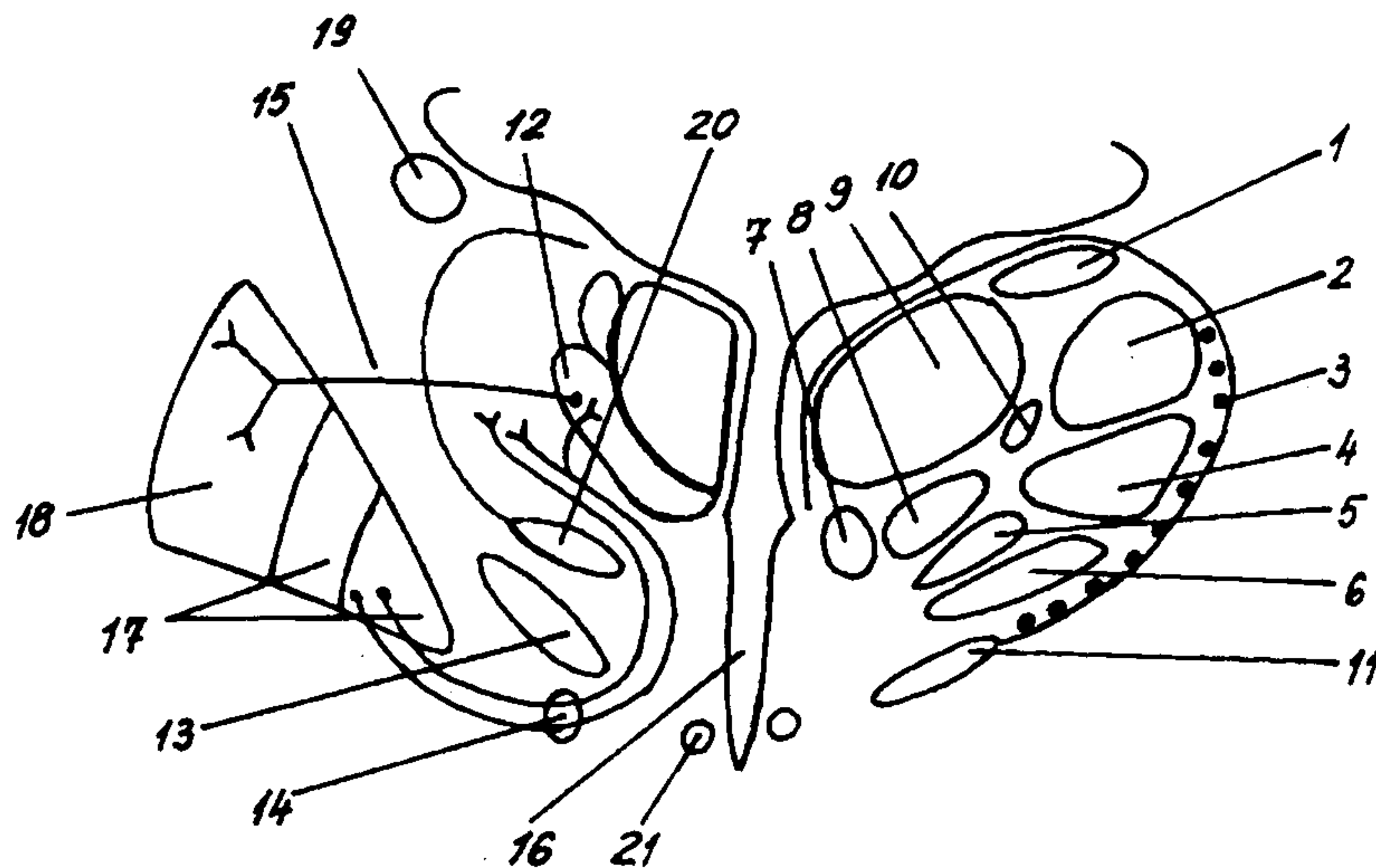
Lama medulară externă situată pe suprafața laterală a talamusului este formată dintr-o pătură de fibre mielinizate.

Lama medulară internă formată dintr-o pătură de substanță albă se bifurcă în porțiunea sa anterioară și substanța cenușie a talamusului într-o porțiune anterioară, una medială și alta laterală.

## Conexiunile talamusului

Talamusul reprezintă structura senzitivă subcorticală crucială subordonată scoarței cerebrale. La nivelul acestei structuri se întrerup în drumul lor către scoarța cerebrală căile tuturor formelor de sensibilitate, în afară de cea a căilor olfactive care ajung la cortex direct, fără a mai trece prin talamus. Nu toate fibrele talamice aferente au o destinație corticală. Unele se termină în nucleii cenușii subcorticali. După locul de terminare a fibrelor eferente deosebim nucleii talamici cu proiecție

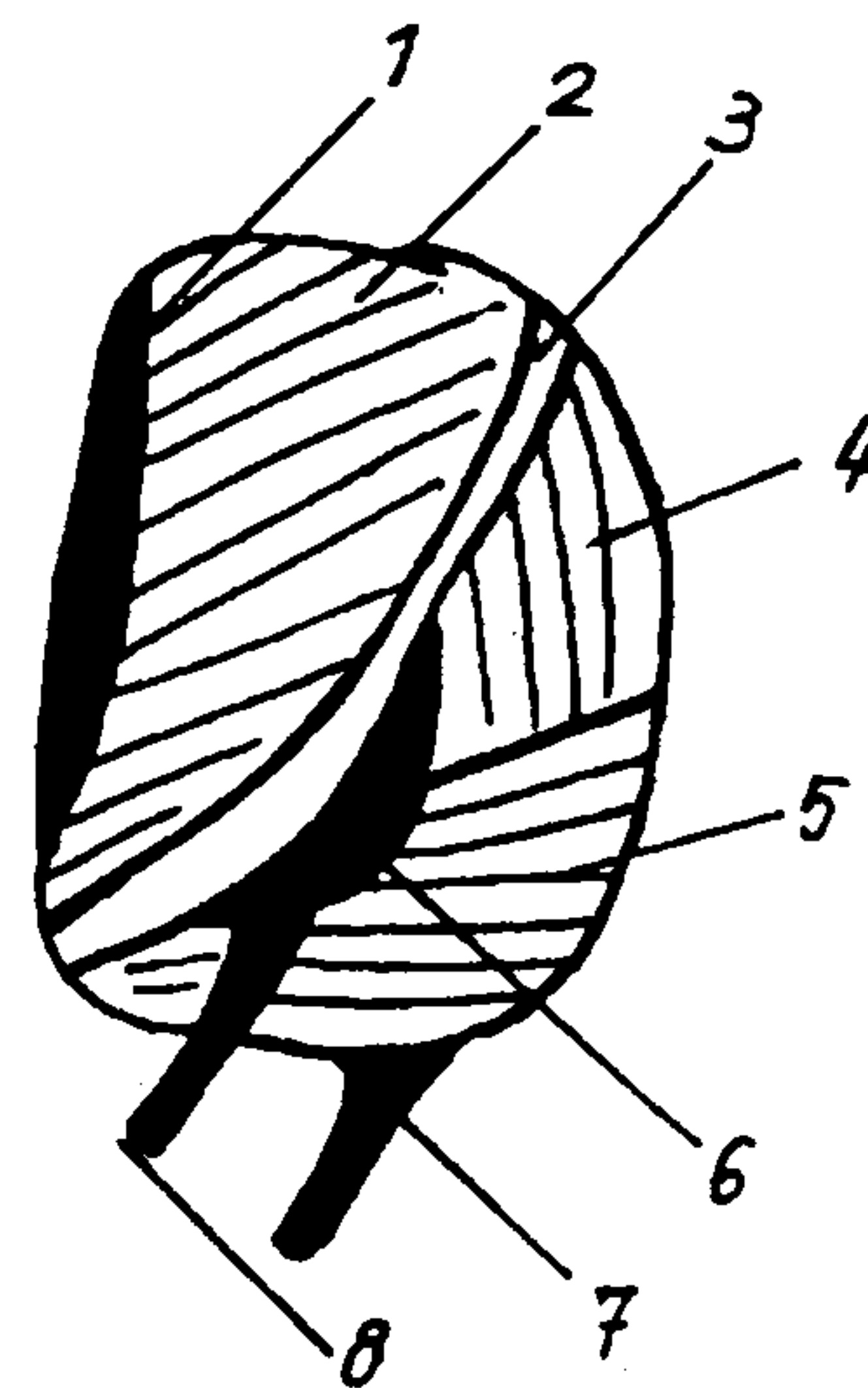




**Fig. 63.** Secțiuni schematice prin talamus pe care se văd unii nuclei și fibrele palidofugale.

1. Nucleul lateral dorsal; 2. Nucleul lateral posterior; 3. Nucleii reticulari; 4. Nucleul lateral postero-central; 5. Nucleul ventro-medial posterior; 6. Nucleul ventral postero-inferior; 7. Nucleul parafascicular; 8. Nucleul talamic central; 9. Nucleul talamic medial; 10. Nucleul circular; 11. Zona incertă; 12. Nucleul centromedian; 13. Nucleul subtalamic; 14. Ansa lenticulară; 15. Fibre talamostriate; 16. Ventriculul trei; 17. Parte laterală și medială a lui globus pallidus; 18. Putamen; 19. Nucleul caudat; 20. Partea dorsală din zona incertă; 21. Fornix.

corticală: (nucleul talamic ventral, nucleul ventral posteroinferior, nucleul arcuat, nucleul ventral posterolateral, nucleul posteromedial, nucleul ventral intermediar, nucleul ventral anterior, nucleul ventral anterolateral, nucleul anteromedial, nucleul reticulat, nucleul medial) și nuclei talamici cu proiecție subcorticală (nucleii intermediari, nucleii ventriculari). Mai există și nuclei talamici de asociație (nuclei laterali, nucleul laterodorsal, lateroposterior etc), care primesc aferențe din afara diencefalului. Fibrele care se termină aici provin de la ceilalți nuclei talamici. Eferențele lor ajung la câmpurile 5 și 7 din lobul parietal. Nucleii din prima categorie au legături în sens talamocortical și corticotalmic. În acest mod nucleii talamici formează împreună cu câmpurile corticale unități funcționale stabile. În schimb, între talamus și nucleii corticali apar legături numai în sens talamonuclear. În nucleii cu proiecție corticală se termină căile mari ascendente care trimit colaterale și la nucleii cu proiecție subcorticală.



**Fig. 64.** Secțiune coronală prin treimea posterioară a talamusului

1. Nucleii liniei mediane; 2. Nucleii mediali; 3. Lama medulară internă; 4. Nucleul posterolateral; 5. Nucleul posterolateral ventral; 6. Nucleul arcuat; 7. Fibre somestezice de la corp; 8. Fibre somestezice de la cap.

Astfel talamusul este sediul ultimului neuron din lanțul ascendent al analizatorilor care leagă un nucleu de scoarța cerebrală.

Aferente Majoritatea fasciculelor ascendente ajunge la talamus pe calea lemniscului medial, care este format din: deutoneuronii nucleilor lui Goll și Burdach (transmite sensibilitatea proprioceptivă conștientă și sensibilitatea tactilă epicritică), căile sensibilității exteroceptive medulare, fasciculele spinotalamice, sensibilitatea extero și proprioceptivă din domeniul nervilor cerebrali, sensibilitatea gustativă și sensibilitatea vestibulară.

În efortul de a înțelege mai bine modul în care zona incertă poate influența activitatea neocorticală, Power și colab. (1999) au examinat paternul legăturilor acesteia cu talamusul care reprezintă „poarta de intrare” către neocortex. Autorii au evidențiat existența unei largi proiecții din zona incertă către nucleii talamusului dorsal. Nucleii de asociație au legături puternice cu sectorul ventral, în timp ce nucleii intralaminari au conexiuni strânse cu sectorul dorsal din zona incertă. Datorită acestor proiecții talamice, zona incertă poate influența arii întinse din neocortex.

Pe de altă parte, Ergenzinger și colab. (1998) au relevat, la nivelul sistemului somatosenzorial al primatelor, existența unei influențe corticale feedback asupra organizării câmpului talamic receptor. Suprimarea acută și cronică a activității neuronilor din cortexul somatosenzorial primar duce la lărgirea marcată a câmpurilor receptoare din talamusul ventroposterior. Acest fapt demonstrează influența dramatică a cortexului asupra dimensiunii câmpului receptor din talamusul somatosenzorial. În plus, rezultatele respective au implicații importante și pentru studiul plasticității neuronale de la adult prin faptul că afectarea ariilor cerebrale de ordin înalt poate declanșa modificări extensive în caracteristicile câmpului receptor al neuronilor de la nivelul căilor de prelucrare

**Eferențe corticale** Talamusul are numeroase proiecții corticale, care împreună cu fibrele ce leagă scoarța de talamus alcătuiesc **radiatiile talamice**. După direcția fibrelor care fac parte din coroana radiată putem deosebi un peduncul anterior (care trece prin brațul anterior al capsulei interne și este destinat lobului frontal), unul superior (ce trece prin brațul posterior al capsulei interne și este destinat circumvoluțiilor pre- și postcentrale), unul posterior (destinat lobului occipital și zonelor învecinate din lobul parietal și temporal) și unul inferior (care trece prin porțiunea sublenticulară a capsulei interne și este destinat lobului temporal și lobului insulei).

**Eferențe subcortice** Pe lângă legăturile talamocorticale există și legături subcortice talamolenticulare, talamocaudate, precum și fibre cu direcție inversă striotalamice, care provin în special de la nucleul lentiform.

Prin intermediul acestor conexiuni, talamusul influențează activitatea căilor descendente ale sistemului extrapiramidal. Controlul cortical al activității motorii este exercitat și prin intermediul unor circuite corticostriotalamocorticale, corticostri-orubrotalamocorticale și corticopontocerebelotalamocorticale. Există și eferente descendente ale talamusului cu nucleul roșu, cu substanța reticulată a trunchiului cerebral, cu oliva prin fasciculul central al calotei, precum și cu hipotalamusul.



## Particularități funcționale ale nucleilor formațiunilor talamencefalice

Cercetările fiziologice au dus la împărțirea nucleilor talamici în două grupe mari: nucleii specifici și nucleii nespecfici. Corespunzător, se vorbește astăzi de existența unui sistem de proiecție talamocortical specific și a unui nespecific. Justificarea unei asemenea delimitări se află în următoarele fapte experimentale. Dacă un nucleu talamic de transmisie este stimulat cu impulsuri electrice singulare, atunci în zonele corticale de proiecție (stabilite anatomic) apare după o foarte scurtă perioadă de latență un așa-numit răspuns primar. Dacă însă se stimulează în același mod nucleii liniei mediane sau centrolaminari, apar de obicei pe toată suprafața scoarței răspunsuri cu o perioadă mare de latență, mai întâi în zonele anterioare, iar apoi și în cele posterioare. Aceste răspunsuri au forma unor unde crescătoare și descrescătoare foarte asemănătoare cu „fusurile” spontane (Jasper, 1949).

În cazul stimulării nucleilor liniei mediane cu un ritm de 6-12 impulsuri/s apar în aceeași succesiune pe toată suprafața scoarței emisferei ipsilaterale zonei excitate potențiale lente negative cu caracter difuz, care se amplifică treptat (Jasper, Droogleever-Fortuyn, 1947). Asemenea potențiale încep să apară după a doua sau a treia excitare, ating amplitudinea maximă la cea de-a cincea sau a șasea excitare, după care amplitudinea undelor începe să se diminueze până la completa dispariție. Dacă excitarea continuă ele apar din nou în aceeași succesiune. Asemenea amplificări și diminuări periodice ale răspunsurilor se pot repeta de câteva ori, fără o modificare semnificativă (cu excepția unei oarecare prelungiri a intervalului dintre faze).

Reacția de răspuns ce apare la stimularea acestor structuri talamice, care nu au proiecție directă în scoarța cerebrală, a fost descoperită pentru prima dată de Morison și Dempsey (1942) și a fost denumită răspuns de recrutare.

Spre deosebire de reacția primară, care apare doar într-o zonă anume a scoarței corespunzătoare proiecției nucleului talamic excitat, reacția de recrutare are un caracter difuz, nefiind legată de o anumită zonă specifică a scoarței cerebrale. Din grupa neuronilor nespecfici fac parte: nucleul liniei mediane, nucleul medial central și nucleul anteroventral. Aceștia primesc aferente de la sistemul reticular ascendent și emit eferente care proiectează difuz prin căi polisinaptice pe întreg neocortexul cerebral (sistemul proiecției talamice nespecifice).

*Nucleii specifici ai talamusului* se disting în primul rând prin faptul că se leagă cu funcția diferitelor sisteme senzoriale (vizual, auditiv, etc.) Majoritatea proiecțiilor talamocorticale specifice au fost descoperite și descrise detaliat cu mult înainte de proiecțiile nespecifice, pe calea metodelor morfologice (modificările retrograde ale elementelor neuronale ale talamusului după înlăturarea diferitelor zone ale scoarței cerebrale, degenerarea fibrelor de proiecție după distrugerea unor zone ale talamusului (Walker, 1938; Hassler, 1959; Sager, 1960) și fiziologice (neurografia stricninică, înregistrarea răspunsurilor corticale la excitarea electrică

a nucleilor talamici, (Mc Culloch, 1949), precum și pe baza observațiilor efectuate în clinica umană.

Grupa nucleilor laterali, reuniți în complexul ventro-bazal reprezintă o verigă de transmisie a semnalelor informaționale, tactile și chinestezice, care provin de la partea contralaterală a corpului prin fibrele lemniscului medial. De aici informația este transmisă în prima arie somestezică a scoarței, pe circumvoluția retrorolandică în felul următor: nucleul ventral posteroinferior pe câmpul 3b, nucleul ventral posterolateral pe câmpul 1 și 2 și nucleul ventral posteromedial pe câmpul 2. Nucleul ventral intermediar este locul de terminare a fibrelor vestibulotalamice și a unor colaterale din pedunculii cerebeloși superiori. Nucleul se proiectează pe câmpul 3a.

Reprezentarea periferiei în complexul ventrobazal are un caracter somatotopic, dar diferitele părți ale corpului sunt reprezentate inegal. Această reprezentare diferă, deasemenea, și în funcție de specia căreia îi aparține animalul. Fibrele care pornesc de la nucleul ventral postero-lateral se termină în porțiunile superioare ale scoarței somestezice, iar cele care pornesc din nucleul ventral posteromedial se termină în porțiunile inferioare ale scoarței somestezice.

Potrivit altor date, s-a emis ipoteza că la complexul ventro-bazal vin impulsuri și prin sistemul spinotalamic (tractul spinotalamic și bulbotalamic), fiind implicat astfel și în mecanismul de producere a senzațiilor termice și dureroase (Rose și Mountcastle, 1959). Se presupune că fibrele spinotalamice pot activa și regiunea situată între complexul ventro-bazal și corpul geniculat intern, care, la rândul ei, este legată de cea de-a doua zonă somestezică a scoarței cerebrale.

Partea medială a complexului ventro-bazal constituie un releu (talamice) pentru impulsurile gustative, care apoi sunt dirijate spre porțiunea inferioară (facială) a circumvoluției postcentrale.

Subdiviziunile grupului anterior al nucleului ventral (și ventral anterior) se află în legătură cu căile cerebeloase ale pedunculului cerebelos superior și cu eferentele globului palid. Porțiunea posterioară a nucleului ventral anterolateral se proiectează pe câmpul motor 4, iar segmentul anterior al nucleului primește fibre palidotalamice, pe care le proiectează pe zona premotorie (câmpul 4a și 4b). Alte aferențe palidotalamice ale nucleului lateropolar ajung la câmpul 4S și 6. Nucleul ventral anteromedial primește aferențe de la nucleul fasciculului longitudinal medial și de la cerebel și proiectează eferente în câmpul 8 (aria oculară) legat de motilitatea globului ocular. Nucleii anteriori primesc aferențe de la tuberculii mamilari (fasciculul mamilotalamic), de la centrii olfactivi bazali și de la nucleii hipotalamici. Eferentele acestora ajung la girus cinguli, în câmpurile 32 și 24.

Nucleul medial al talamusului primește aferențe de la nivelul spațiului perforat posterior, de la globul palid, nucleul amigdalian, precum și de la ceilalți nuclei diencefalici (ventrali, ventriculari și hipotalamici), pe care le proiectează pe porțiunea anteroinferioară a lobului frontal (câmpurile 8, 9, 10, 11, 13, 14, 44, 45, 46, 47).

În nucleii pulvinarului se termină fibrele care vin de la corpii geniculați, precum și de la alți nuclei ai talamusului. Ei trimit fibre înspre scoarța cerebrală parietală (câmpul 7, 39), temporală (câmpul 37) și occipitală (câmpul 17 și 19).



Din această cauză pulvinarul servește la integrarea impulsurilor auditive, vizuale și somatice.

Nucleii talamici cu proiecție subcorticală sunt reprezentați de nucleii interlaminari și ventriculari. Nucleii intralaminari primesc aferențe de la cerebel, din lemniscul medial și din fasciculul longitudinal posterior și trimit eferente în corpul striat, capul nucleului caudat, putamen, globul palid, nucleul parafascicular și nucleul medial al talamusului. Nucleii ventriculari trimit eferente la hipotalamus și mezencefal.

Grupa nucleilor de asociație dobândește o pondere deosebită la animalele superioare și mai ales la om. Se presupune că la acești nuclei sosesc impulsuri de la diferiți nuclei de transmisie. Aici are loc o integrare, după care semnalele sunt expediate zonelor asociative ale scoarței, care prin intermediul legăturilor corticocorticale primesc informații și de la ariile senzoriale primare.

Din păcate, acești nuclei sunt foarte puțin studiați experimental și până în prezent nu avem o reprezentare clară a specificului funcției lor integrative. Așa cum au dovedit unele cercetări, zonele asociative ale scoarței pot funcționa și fără participarea lor, primind informație de la unii nuclei talamici nespecifici sau direct de la nucleii de transmisie (Albe-Fessard, 1963; Imbert și colab., 1966; Bignall și colab., 1966; Bignall, 1967). Problema se complică și mai mult, întrucât unele cercetări arată că răspunsurile cortexului asociativ rămân aproape fără modificări și după extirparea sau depresiunea zonei senzoriale primare corespunzătoare a scoarței (Buser și Borenstein, 1959; Buser și colab., 1959). Aceasta demonstrează că impulsurile pentru reacția dată vin direct de la structurile subcorticale (talamice), și nu de la zonele senzoriale primare, cum se presupunea înainte. Firește, aceasta nu exclude și posibilitatea sosirii informației și de la zonele senzoriale primare (Narikașvili și colab. 1966).

### Raporturile corticotalamice

Zonele de recepție (senzoriale) ale scoarței nu numai că primesc fibre de la nucleii talamencefalici, dar și trimit fibre la aceștia.

Cercetările fiziologice au pus în evidență un efect frenator (inhibitor) și unul facilitator la nivelul structurilor talamice consecutiv excitării zonelor senzoriale ale scoarței sau suprimării activismului lor, condiționat de stimularea nucleilor talamici specifici și nespecifici (Iwama și Yamamoto, 1961; Guston, 1963; Meescherskii și Guston, 1964; Rabin, 1965).

Există două căi de influență a scoarței asupra nucleilor talamici.

În primul caz, zona senzorială a scoarței acționează numai asupra nucleului talamic de transmisie corespunzător prin intermediul căilor directe corticotalamice (Narikașvili, 1962).

În al doilea caz, orice zonă corticală poate exercita o influență difuză asupra tuturor nucleilor talamici prin intermediul conexiunilor cortico-reticulo-talamice.

Într-o situație sau alta, pot fi conectate probabil ambele mecanisme, dar interacțiunea lor poate varia. De exemplu, dacă se stimulează o zonă sau alta de proiecție corticală în momentul în care în cadrul ei se desfășoară reacția de accentuare, atunci aceasta din urmă se stinge. Cu alte cuvinte, nucleul talamic suferă o influență corticofugală inhibitoare. Dacă aceeași stimulare corticală se administrează în timpul sau înaintea producerii reacției de recrutare, aceasta din urmă va fi de asemenea reprimată pentru un lung interval de timp pe toată suprafața scoarței. Un astfel de efect difuz poate fi obținut prin excitarea oricărei zone corticale, îndeosebi senzorio-motorii. După secționarea trunchiului cerebral la nivelul creierului mijlociu, efectul respectiv slăbește considerabil sau dispare cu totul. Aceasta conduce la concluzia că influența difuză a scoarței asupra nucleilor talamici se realizează prin intermediul activării formațiunii reticulate. După secționarea trunchiului cerebral la nivelul mențioanat, influența scoarței asupra reacției de accentuare (intensificare) se menține, deși într-o formă mai diminuată. Aceasta dovedește că influența zonei corticale de proiecție asupra nucleului talamic corespunzător se realizează cu precădere prin intermediul conexiunilor directe-corticotalamice (Bowsher, 1979).

Prin urmare, activitatea electrică spontană a cortexului cerebral poate fi afectată de stimularea nucleilor liniei mediane a talamusului, iar sistemul reticular talamic reprezintă o continuare a sistemului reticular al trunchiului cerebral. Proiecția fibrelor nespecifice din sistemul reticular talamic, joacă un rol important în menținerea și reglarea ritmului normal de repaus al cortexului. Stimularea la animale a sistemului reticular talamic cu ajutorul electrozilor implantați duce la menținerea tranzientă a posturii pe timpul stimulării. Deși se crede că există circuite talamocorticale care influențează activitatea talamusului și cortexului, după întreruperea acestora rămâne activitatea electrică ritmică talamică și corticală, dar aceasta este de obicei anormală și deprimată. Proiecțiile corticofugale către talamus iau parte și ele la reglarea activității sistemului reticular talamic.

Descărcările epileptice locale autosusținute din talamus se pot proiecta în anumite arii corticale simulând o epilepsie corticală focală.

Interacțiunea corticotalamică realizată pe căi directe și ocolite se instituie într-o condiție fiziologică de bază pentru integrarea și realizarea activității psihice nu numai în componentele ei cognitive, ci și în cele instrumental-executive.

## Concluzii

Din punct de vedere funcțional nucleii talamici se împart în două grupe: nuclei de transmitere (releu, retransmitere) și nuclei cu proiecție difuză.

Nucleii de transmitere au trei caracteristici: 1) fiecare prelucrează numai o singură modalitate senzorială sau un input provenit de la o anumită parte a sistemului motor; 2) fiecare se proiectează într-o regiune specifică a cortexului cerebral și 3) fiecare primește inputuri recurente de la regiunea cortexului cerebral pe care s-a proiectat.



Aceste conexiuni recurente permit cortexului să-și moduleze inputurile primite în funcție de activitatea desfășurată.

Nucleii de proiecție difuză au conexiuni mult mai numeroase decât primii, fapt datorită căruia influențează activitatea celulară nu numai din cortexul cerebral, ci și din talamus. Nucleii cu proiecție difuză fac parte din sistemul care guvernează nivelul de trezire al creierului.

Fiecare diviziune funcțională majoră a cortexului cerebral (senzorială, motorie și motivațională) primește axoni numai de la un anumit nucleu talamic de transmitere. Un nucleu talamic senzorial transmite într-o anumită regiune corticală numai o anumită modalitate informațională senzorială. Această informație reprezintă treapta inițială a generării percepției senzoriale.

Alți nuclei senzoriali trimit informații către ariile asociative ale cortexului, unde sunt integrate numeroase sisteme senzoriale care iau parte la inițierea comportamentului.

Nucleii talamici motori trimit informații către cortexul motor pentru a-l informa despre activitatea altor regiuni ale creierului implicate în controlul outputului motor, cum ar fi cerebelul. Și sistemul motivațional primește inputuri directe de la nucleii talamici de transmitere. În plus, toate diviziunile corticale funcționale primesc inputuri și de la nucleii cu proiecție difuză, dar un singur nucleu cu proiecție difuză poate trimite axoni diviziunii funcționale ale cortexului, aceasta pentru a regla nivelul general de excitabilitate corticală (Kelly, 1991).

### Considerații clinice

Talamusul reprezintă structura crucială pentru percepția senzorială, dar cortexul cerebral senzorial dă detalii în plus, de finețe ale aceteia.

Sindromul talamic descris de Déjérine și Roussy în 1906 a dominat timp de o jumătate de secol neuropsihologia leziunilor talamice. El este constituit din mai multe simptome neurologice.

Hemianestezia contralaterală apărută imediat după o hemoragie talamică reprezintă sindromul cel mai important. Sensibilitatea superficială poate să nu fie serios afectată, deoarece are reprezentare bilaterală. O parte din fibrele acesteia se încrucișează în comisura posterioară.

Durerea de tip central, intensă (hiperpatie) și cu caracter de arsură, poate iradia în tot hemicorpul afectat. Ea este dezagreabilă, persistentă, apare în perioada de ameliorare a hemoragiei sau infarctului talamic și se accentuează la stresuri emoționale și oboseală.

Mișcările involuntare manifestate prin tremur intențional se datorează lezării nucleului lateral ventral sau aferentelor sale. În cazul mișcărilor coreoatetozice sunt implicate și fibrele palidotalamice.

Ataxia membrelor inferioare depinde de intensitatea parezei și de tulburarea sensibilității profunde.

Hemianopsia homonimă se datorează lezării corpului geniculat lateral.

Tulburările simplice se manifestă prin ptoză palpebrală parțială, mioză și hemianhidroză, toate situate ipsilateral leziunii. Tulburările motorii (hemipareza) contralaterale care apar în cadrul sindromului talamic se datorează comprimării brațului posterior al capsulei interne.

Uneori au fost semnalate și tulburări de gust.

Afazia talamică Ficher (1959) a fost primul care a semnalat prezența disfaziei în leziunile hemoragice talamice de partea dominantă și apractognozia de partea non-dominantă. De atunci, clinicienii au învățat că talamusul nu este doar ultimul rețeu al aferentelor senzoriale.

Descrierea anatomo-clinică a afaziei talamice a fost făcută de numeroși autori (Ciemens, 1970; Brown, 1974, Mohr și colab., 1975; Cappa și Vignolo, 1979; Cambier și colab., 1982; Gorelick și colab., 1984; Puel și colab., 1986; Tuszunski și Petito, 1988; Cambier și Graveleau, 1996). Aceștia au arătat că tulburările de limbaj apărute ca urmare a leziunilor talamice se manifestă prin tulburări de dinamică a expresiei și fluentei verbale, voce slabă, răspunsuri scurte, debit încetinit și sacadat, întretăiat uneori de segmente accelerate și de tulburări inconstante de articulare. Construcția frazelor cu cuvinte impuse este grav perturbată. Parafaziile verbale, prezente în expresia spontană, se multiplică în cadrul testelor de denominație.

Evocarea seriilor categoriale sau alfabetice este redusă la numai câteva cuvinte și frânată de perseverări.

Incoerența discursului contrastează cu posibilitatea normală de repetare a cuvintelor și a frazelor scurte și cu absența tulburărilor de înțelegere a limbajului vorbit și a celui scris. Sunt totuși afectate enunțurile excesive care fac apel la memoria verbală. Funcția celor trei mari arii ale vorbirii este coordonată de conexiunile intrataleamice, corticotalamice și talamocorticale. Prin urmare, tulburările de vorbire pot apărea prin lezarea cortexului, a conexiunilor sau a talamusului.

Tulburarea de memorie, asociată în mod constant afaziei talamice, este de tip disociat și se referă exclusiv la materialul verbal. Cel mai adesea, aceasta se manifestă printr-un deficit al memoriei logice, al capacității de a crea asociații și al învățării seriilor de cuvinte (Cambier și colab., 1982; Michel și colab., 1982). În cazul lezării unilaterale a nucleului ventrolateral, scade capacitatea individului de a reține informații noi.

Afazia talamică are o evoluție favorabilă, dar tulburările de memorie verbală sunt durabile (Cambier și Graveleau, 1996). Apariția tulburărilor de limbaj și a celor de memorie verbală sunt dependente de atingerea teritoriilor paramedian și al arterei tuberotalamice (Graff-Redford și colab., 1989; Bogousslavsky și Uskea, 1988). Infarctele din teritoriul inferolateral nu dau, de obicei, naștere unei astfel de semiologii. În observațiile anatomo-clinice ale lui Davous și colab. (1980), infarctul își avea sediul în teritoriul paramedian stâng și afecta nucleii ventro-lateral, dorso-median și intralaminar, respectând pulvinarul și prelungindu-se în regiunea subtalamică.

În observațiile lui Archer și colab. (1981), leziunea pacientului atinge nucleul ventral anterior, o mică parte din nucleul ventro-oral anterior (subdiviziune a



nucleului ventro-lateral), nucleul reticular și partea adiacentă a genunchiului și a brațului posterior al capsulei interne.

Infarctele talamice pot, de asemenea, să se afle la originea unor tulburări izolate ale memoriei verbale, cum este cazul observațiilor lui Speedie și Heilman (1983), în care examenul CT era în favoarea unei leziuni limitate a nucleului centro-median stâng. În cazul lui Goldenberg și colab. (1983) exista în plus o atingere a nucleului ventro-lateral.

La cazurile lui Mori și colab., (1986) tulburarea limbajului și a memoriei verbale erau consecința unei leziuni ce afecta nucleul ventrolateral, centrul median și lamina medulară internă sau fasciculul mamilotalamic, al lui Vicq d'Azyr.

Tuszynski și Petito (1988) au observat o atingere ischemică a nucleilor dorso-median, postero-lateral și ventro-lateral.

Datele de mai sus pot fi corelate cu rezultatele stereotaxiei talamice. Talamotomiile stângi au dus la diminuarea performanțelor verbale receptivă și expresivă, dar talamotomiile drepte nu au determinat niciodată tulburări dinamice ale limbajului.

Concludent este studiul lui Bell (1968) care a urmărit funcția vorbirii la 50 de pacienți cu talamotomie. La 16 dintre aceștia a constatat o scădere a vocii și la 34 dizartrie. Tulburările de fonație erau mai frecvente după intervențiile bilaterale și mai durabile după intervențiile pe talamusul stâng. În 10 cazuri a existat o afazie, a cărei semiologie a corespuns afaziei talamice. Leziunile responsabile de afazia talamică par să intereseze nucleii ventral-anterior, ventral-lateral, intralaminari și dorso-median. Nucleul ventro-lateral se proiectează în ariile primare, senzorială și motorie (ariile 1, 3, 4, 6) ale hemisferei cerebrale. Stimularea nucleului ventro-lateral stâng la bolnavii cu diskinezie a dus la accelerarea ratei calculului, a memoriei verbale pe termen scurt și a denumirii corecte a obiectelor. În astfel de situații s-a produs și inhibiția descărcării fusurilor musculare contralaterale, dacă cortexul senzorial rămânea intact. Fusurile musculare inervate de fibrele motorii mici și lente din rădăcina motorie ventrală (eferente gama) prezintă diferențe față de masa musculară principală. Mușchii sunt inervați de cortex pe calea celulelor alfa și gama din cornul anterior al măduvei spinării. Alterarea balanței dintre alfa și gama duce la alterarea tonusului muscular.

Tulburările limbajului și ale memoriei verbale sunt consecința unei depășiri lezionale și a unei difuzări a excitației, în special în direcția nucleului ventral anterior.

Intervențiile asupra nucleului ventral intermediar, care constituie ținta tratamentelor actuale ale mișcărilor anormale, expun la efecte colaterale de același ordin.

Participarea talamusului stâng în comunicarea verbală și în memoria verbală fiind stabilă, neuropsihologii au emis și explicații corespunzătoare. Astfel, Ojemann (1977) admite că talamusul stâng este răspunzător de o stare de veghe specifică, care orientează atenția spre materialul verbal.

Explorările metabolice cu emisiuni de pozitroni au relevat un hipometabolism hemisferic la pacienții cu leziuni ischemice ale talamusului, răspunzător de

reducerea și inhibarea activităților lingvistice. Acest deficit nespecific nu explică toate caracteristicile afaziei talamice.

În afara reducerii spontaneității, afazia talamică dă naștere unei degradări calitative a expresiei, care contrastează cu păstrarea repetiției și înțelegerii (Cambier și Graveleanu, 1996).

Schaltenbrand (1975) afirmă că talamusul intervine în ordonarea temporară a vorbirii și controlează emisiunea sau, dimpotrivă, represiunea modelelor în mare parte performante.

Botez și Barbeau (1971) postulează existența a două sisteme funcționale care se află la baza cuvântului și limbajului: un sistem filogenetic mai vechi implicat în inițierea cuvântului, în menținerea fluxului verbal și a volumului și în controlul procesului de articulare, aflate sub dependența substanței cenușii periapeductale, regiunii ventro-laterale a talamusului, ariei Broca, și în mod secundar, striatului, proiecțiilor cortico-striate, cerebelului și poate hipotalamisului; un sistem dezvoltat mai recent aflat la baza conținutului semantic, dependent de pulvinar, de nucleul lateral posterior al talamusului și de ariile corticale posterioare ale limbajului.

Această concepție în care este implicat aproape tot creierul complică mai mult decât explică elementele care stau la baza afaziei talamice.

După Puel și colab. (1986), leziunile putameno-caudate dau naștere unor tulburări ale limbajului, atunci când sunt situate în hemisfera stângă.

Afaziile putameno-caudate au o semiologie foarte apropiată de afazia transcorticală motorie și de afazia talamică. Aceasta se datorează faptului că nucleul ventral anterior și cel dorso-median, care răspund de afazia talamică, sunt locul de proiecție al aferentelor palido-nigrice.

Prin urmare, întreruperea într-un punct oarecare a circuitului cortico-striato-palido-talamo-cortical determină apariția unor tulburări de vorbire asemănătoare. Este, deci, logic să admitem că nucleii cenușii centrali și talamusul intervin în mod asemănător în controlul mișcării și al conducerii exprimării verbale. Aria motorie a feței și aria Broca, ca și aria somestezică a feței, strâns unite prin conexiuni corticale, au proiecții convergente spre putamen. Aici s-ar afla mecanismul care asigură alegerea corespunzătoare a lexicului, formarea sintactică și ordonarea formelor. Coerența exprimării este vulnerabilă în cadrul releului talamic. Leziunea talamică nu numai că reduce dinamica exprimării, dar compromite, de asemenea, precontrolul semantic al lexicului și al frazei în faza de gestație (Cresson, 1985).

Sindromul de neglijență talamică Leziunile talamusului drept dau simptome atribuite în mod tradițional leziunilor cortexului hemisferic drept (iluzii kinestezice, senzația de amputare, hemiasomatognozie și anozognozie),

Observațiile lui Cambier și colab. (1980) și Watson și colab. (1981) au pus accentul pe tulburările vizuo-spațiale și au fundamentat conceptul de „*sindrom de neglijență talamică*... care privește în același timp acțiunea (neglijența motorie) și percepția spațiului (neglijența spațială).

- *Neglijența motorie* se manifestă în cadrul comportării spontane a pacienților și duce la un adevărat defect de utilizare a unei jumătăți de corp în



sine perfect funcțională. Prin incitare verbală, acest tip de neglijență poate să dispară cel puțin parțial (Cambier și Graveleanu, 1996) și nu este apanajul exclusiv al leziunilor drepte, așa cum păreau să indice intervențiile chirurgicale stereotaxice (Zool, 1969). Ea poate să apară în cursul leziunilor frontale (Castaigne și colab., 1972; Heilman, 1972), talamice limitate (Schott și colab., 1981; Laplane și colab., 1982) și ale brațului anterior al capsulei interne (Viader și colab., 1982). Aceste date subliniază rolul disfuncției conexiunilor nucleilor ventral lateral și anterior precum și al nucleilor interlaminari cu cortexul prefrontal (Carpenter, 1976; Kievit și Kuypers, 1977) și cu striatul (Royce, 1978) în determinarea neglijenței motorii.

- *Neglijența spațială* se referă la noțiunea de spațiu drept și spațiu stâng, precum și la direcție. După Cambier și Graveleanu (1996), ea are o componentă atențională și una intențională și se manifestă în principal prin modalitatea vizuală, mijloc privilegiat de cunoaștere a spațiului extrapersonal. Se însoțește cel mai adesea de o hemianopsie laterală omonimă stângă (dar nu în mod necesar) (Graveleanu și colab., 1986), de devierea privirii spre dreapta și de refuzul explorării spațiului stâng.

Desenul spontan sau copiat, plasarea orașelor pe o hartă mută, explorarea tactilă a spațiului și amputarea părții din stânga textului sau a jumătății din stânga cuvintelor confirmă această neglijență.

Heilman și colab (1985) și Ladavas (1987) au arătat că și în interiorul spațiului drept există un deficit intențional stâng. Din două stimulări prezentate în spațiul drept, doar cea care este situată în extremitatea dreaptă este percepută.

Adesea, sindromul de neglijență talamică este însoțit și de alte manifestări de disfuncție hemisferică dreaptă: tulburări de recunoaștere a locurilor și de orientare spațială, erori în manipularea datelor spațiale, apraxie constructivă, impersistență motorie a pleoapelor, deficit de memorie anterogradă pentru materialul vizuo-spațial (Speedie și Heilmann, 1983; Graff-Radford și colab., 1984), spontaneitate excesivă a limbajului, ca și cum ar fi relativ eliberat, și percepția eronată a corpului. Aceste simptome duc la apariția unui delir al corpului și al locurilor (Leiguarda, 1983) și la confabulații extravagante în contextul unei exaltări maniacale (Kulisevsky și colab., 1993).

În hemoragii, sindromul de neglijență talamică se asociază cu hemiplegie stângă și predominant cu tulburări somatognozice.

Talamotomiile drepte au dus la apariția inatenției pentru stimulii discriminativi necesari percepției rapide a formelor (viteza perceptuală).

Prin urmare, talamusul drept este legat mai mult de performanțele neverbale, de funcția vizuo-spațială și somestezică dezvoltate în perioada inițială a învățării.

Nucleii talamici intralaminari sunt implicați în atenția selectivă din zonele neocorticale și din sistemul limbic.

Sindromul de neglijență talamică ne permite să distingem o acțiune talamică globală, care contribuie la menținerea echilibrului celor două hemisfere și una sau mai multe acțiuni specifice, care intervin în desfășurarea funcțiilor specializate proprii hemisferei respective.

Deficitele de activare a hemisferei drepte au determinat leziuni talamice, care se manifestă prin anosognozie, hemiasomatognozie, tulburări de recunoaștere a locurilor și apraxie constructivă. Deschiderea ochilor pentru a intra în contact cu interlocutorul și devierea privirii spre dreapta constituie corolarul natural al comunicării verbale. Menținerea în aceste circumstanțe a ochilor închiși depinde, în primul rând, de activitatea hemisferei drepte. O leziune hemisferică dreaptă poate să ducă la pierderea capacității respective. Constatarea acestui fenomen în cazul leziunilor talamice arată că ele provoacă un defect de activare hemisferică (Cambier și Graveleanu, 1996). Explorările metabolice au confirmat acest deficit, care se atenuează progresiv o dată cu reglarea semiologiei (Baron și colab., 1986; Valler și colab., 1988).

Talamusul are un rol specific și în controlul atenției spațiale. Aceasta se bazează pe reacția de orientare ale cărei etape de integrare succesivă (Mesulam, 1981) sunt reprezentate de tuberculii cvadrigemeni, talamus și cortex. Nucleii talamici formează împreună cu câmpurile corticale unități funcționale stabile. Întreruperea conexiunilor între talamus și cortexul parietal implicat în procesele de atenție provoacă un comportament de neglijență spațială, în care componenta atențională pare să fie preponderentă (Cambier și colab., 1983; Cambier și Graveleanu, 1996).

Deși explicațiile actuale sunt insuficiente, trebuie avute în vedere specializarea hemisferică și dispozitivele sub dependența cărora se află atenția spațială.

Afazia talamică și sindromul de neglijență talamică sunt asociate cu un deficit de învățare, care privește materialul verbal și materialul vizuo-spațial. Aceste tulburări de achiziție, proprii fiecărei hemisfere, sunt strâns legate de tratarea defectuoasă a informațiilor care trebuie memorizate.

Demența talamică Schuster (1936) a observat că leziunile bilaterale pot produce o deteriorare globală a funcțiilor superioare. Pentru descrierea consecințelor degenerării simetrice bilaterale ale talamusului, Stern (1939) a folosit termenul de demență talamică. Din punct de vedere clinic, demența talamică se manifestă prin pierderea spontaneității motorii și a inițiativei verbale, mormăieli ininteligibile, apatie, indiferență față de sine însuși și față de anturaj, stereotipii gestuale, înțelegerea parțială a ordinelor, perseverare motorie sau verbală, absența oricărei reacții afective, amnezie anterogradă marcată, amnezie retrogradă fragmentară și dezorientare temporo-spațială. Uneori amnezia de tip korsakovian este predominantă, dar testele psihometrice fac să apară deteriorarea (Schott și colab., 1980; Rousseaux și colab., 1986). Astfel, talamusul ar participa la mai multe circuite, a căror funcționare paralelă intervine în memorie. Signoret și Goldberg (1986) disting procesul de consolidare care permite formarea de trasee mnezice (nucleii anteriori și cei din linia mediană), procesul de activare care permite rapelul traseelor mnezice (nucleii intralaminari) și procesul de organizare temporală care ordonează omiterile recente și mai vechi (nucleii dorso-mediali).

Dependența față de solicitările elementare se poate manifesta sub forma unei bulimii (Gentilini și colab., 1987) sau sub forma unei tulburări de comportament



urinar. Unele cazuri se remarcă printr-o stare de spirit jovială (Vighetto și colab., 1986), o agitație motorie fără obiect, sau o tulburarea a reglării somnului cu insomnii rebele și halucinații onirice (Medori și colab., 1992).

Demența talamică apare după lezarea bilaterală a conexiunilor talamocorticale și a circuitelor hipocampo-talamo-cingulare. În cazul demenței talamice, afazia și sindromul de neglijență talamică nu mai pot fi puse în evidență din cauza deteriorării globale a funcțiilor superioare.

Ea are în comun cu alte demențe subcorticale o semiologie frontală de împrumut și se singularizează prin importanța tulburărilor de atenție (dublă hemi-inatenție). Defectul major al inițiativei amintește de sindromul de pierdere a autoactivității psihice cu vid de gândire și activități rituale caracteristice (Cambier și Graveleanu, 1996). Talamusul este indispensabil menținerii stării de conștiință și mai puțin esențial pentru starea de veghe (Kinney și colab., 1994).

Cauza cea mai frecventă a demenței talamice este infarctul bilateral din teritoriul arterelor paramediane (pediculul retro-mamilar al lui Foix-Hillemond, 1925). Aceste artere irigă o regiune subtalamică adiacentă teritoriului arterelor paramediane superioare, ce se întinde în partea superioară a nucleului roșu și o regiune talamică paramediană, care cuprinde nucleul dorso-median și nucleii intratalamici. Când leziunile interesează ambele regiuni, apare o tulburarea gravă a stării de veghe, care poate merge de la comă la hipersomnie letargică sau la un fel de mutism akinetic (Segarra, 1970; Castaigne și colab., 1981).

Afectarea celor două formațiuni talamice dă o semiologie dementială. Atrofia mai mult sau mai puțin totală a nucleilor dorsal, median și anterior caracterizează insomnia familială fatală descrisă de Lugare și colab. (1986). Această maladie împreună cu boala Creutzfeldt-Jakob și atrofia selectivă a talamusului care dă naștere semiologiei predominant dementiale, reprezintă patologii ale prionului (Mendori și colab., 1992; Peterson și colab., 1992).

Sindromul amnezic din leziunile bilaterale are caracterele unei amnezii korsakoviene. El este în general atribuit unei leziuni bilaterale a fasciculului mamilo-talamic, care determină o deconectare între tuberculii mamilari și nucleul anterior al talamusului (Schott și colab., 1980; Von Cramon și colab., 1985; Gentilini și colab., 1987). Totuși, atingerea bilaterală nu este constantă, dar leziunile bilaterale ale nucleului dorso-median sunt constante (Swanson și Achmidley, 1985; Nichelli și colab., 1988). Ele ar putea explica fabulațiile din cursul amneziilor talamice și din sindromul Korsakoff al alcoolicii, în timp ce în amnezia hipocampică lipsesc. Spiegel și colab. (1955) au observat că distrugerea stereotaxică bilaterală a nucleilor dorso-mediani produce o tulburarea a percepției timpului, cunoscută sub numele de acronotaraxie.

- *Tulburările de emoție* apar în sfera manifestărilor motorii sau expresive, prin faptul că talamusul intervine ca modulator al proceselor afective. Nucleul dorso-medial și proiecțiile sale pe hipotalamus și pe neocortexul orbitofrontal reprezintă locul țintă al talamotomiei, al lobotomiei și al leucotomiei frontale, operații făcute în scopul reducerii tensiunii emoționale a anxietății, a agitației și

a agresiunii bolnavilor psihici. După înlăturarea polului frontal al hemisferelor cerebrale, se produce degenerarea nucleului dorsomedian.

Lezarea nucleilor anteriori aflați pe traseul care leagă girusul cinguli de hipocamp modifică starea de conștiință și reduce mult reacțiile emoționale.

Stimularea nucleului postero-ventral al talamusului dă anxietate în mișcări ofensive și fenomene vegetative corespunzătoare.

## METATALAMUSUL

Metatalemusul este alcătuit din corpii geniculați laterali și mediali. Aceștia ocupă o poziție subtalamică posterioară. Corpii geniculați laterali se leagă de tuberculii cvadrigemeni superiori, iar la nivelul lor se termină căile optice. Aici se află centrul vizual primar, care la animale realizează unele integrări finale, permițând astfel diferențieri între lumină și întuneric și orientări în raport cu localizarea și intensitatea stimulilor luminoși. La om corpii geniculați laterali reprezintă o stație de întrerupere pe căile vizuale. La ei se termină tracturile optice, iar eferențele lor formează radiațiile optice care ajung la scoarța vizuală de pe buzele scizurii calcarine și la ariile 18 și 19 din lobul occipital. Pe lângă radiațiile optice de la corpul geniculat lateral mai pleacă fibre cu rol reflex spre tuberculii cvadrigemnei anteriori.

La om, ei realizează numai integrări preliminare, pe baza cărora nu se poate ajunge la obținerea senzațiilor propriu-zise de lumină și întuneric.

Corpul geniculat lateral (extern) constituie nodul releu pentru semnalele vizuale și se compune din două părți: a. ventrală (veche din punct de vedere filogenetic) și b. dorsală stratificată (filogenetic nouă). Deși la ambele sosesc fibre ale tractului optic, expediază semnale la scoarța cerebrală numai porțiunea dorsală (filogenetic nouă). În cursul evoluției filogenetice, o dată cu perfecționarea vederii binoculare, numărul straturilor acestei porțiuni a crescut treptat, ajungând la trei (la pisică) și la șase (la primate și la om). Aceasta s-a realizat cu precădere pe seama creșterii reprezentării retinei ipsilaterale (Bishop, 1953).

Corpii geniculați mediali se leagă de tuberculii cvadrigemeni inferiori și la nivelul lor fac sinapsă căile auditive vehiculate de lemniscul lateral (porțiunea laterală a panglicii Reil). De la aceste formațiuni pornesc radiațiile acustice, care ajung la ariile auditive a primei circumvoluții temporale (girusul temporal transvers Heschl) și deci la câmpurile 41 și 42. Pe lângă lemniscul lateral, corpul geniculat medial mai primește fibre de la tuberculii cvadrigemeni posteriori (coliculul inferior) și de la comisura lui Gudden, care trecând prin chiasmă și tracturile optice unește corpii geniculați mediali, tuberculii mediali și tuberculii cvadrigemeni posteriori de o parte cu cei de partea opusă.



## EPITALAMUSUL

Epitalamusul se află în fața superioară a diencefalului între spleniul corpului călos și tuberculii cvadrigemeni anteriori. El se compune din: glanda epifiză (pineală) din comisura posterioară și din aparatul habenular sau trigonul habenulei (stria medulară și nucleul habenulei).

Aparatul habenular, dispus înaintea epifizei, conține nucleii habenulari (intern și extern) uniți prin pedunculii epifizei sau comisura habenulară.

Embriogenic, epifiza provine dintr-o evaginare a plafonului diencefalic, de unde și numele de epifiză (excreșcență superioară).

Numele de glandă pineală este legat de asemănarea sa cu conul de brad. Corpul ei așezat între tuberculii cvadrigemeni (coliculi) superiori are o bază atașată de un peduncul. Lamina ventrală a acestui peduncul, continuare a comisurii posterioare și a laminei dorsale, formează comisura habenulară. La capătul său proximal, porțiunea terminală a laminei pedunculare se separă formând recesul pinal al ventriculului trei. Sub reces se află comisura posterioară, iar inferior de aceasta orificiul apeductului lui Sylvius.

Trigonul habenular situat pe partea superioară a coliculilor conține nucleul habenular care primește fibre de la stria medularis, ce se alătură comisurii habenulare și tractului habenulopeduncular (retroreflex al lui Maynert). Acesta pornește de la nucleul habenular și ajunge până la ganglionul interpeduncular al mezencefalului.

Comisura posterioară este formată dintr-un mănunchi de fibre albe, care traversează planul median pe aspectul dorsal al capătului rostral al apeductului cerebral. Unele din aceste fibre se conectează cu cei doi coliculi superiori.

După vârsta de 7 ani, glanda involuează, iar după 14 ani se calcifică. Din punct de vedere funcțional, epifiza este o glandă endocrină cu rol important în dezvoltare. Ea are acțiune frenatoare asupra sferei sexuale și joacă un rol important în creștere și în metabolismul protidic, glucidic și mineral.

Pinealocitele, celule secretorii ale parenchimului pineal, sunt celule fotoneuroendocrine, care derivă filogenetic din celulele senzoriale primare cu origine embriologică neuronală (Oksche și colab. 1987).

Epifiza este un traductor neuroendocrin bicelular, deoarece funcția endocrină a pinealocitelor, dependentă de inervația sinaptică și comisurală, are rolul de a traduce informația nervoasă în informație endocrină (Collin, 1985).

Reprezentantul principal al hormonilor pineali este melatonina, singurul hormon pineal unanim recunoscut atât ca structură chimică, cât și ca rol funcțional neuroendocrin. Precursorul melatoninei este serotonina. Concentrația de serotonină este supusă variațiilor circadiene: ziua este maximă, iar noaptea minimă. La om prezența melatoninei a fost semnalată în afara glandei pineale, în foliculii ovarieni, mucoasa apendiculară, trombocite și eritrocite, fără a se dovedi că este sintetizată

local (Pevet, 1983). Concentrația melatoninei din LCR este mai mare decât în sânge. La om producția maximă de melatonină este nocturnă, iar cea de serotonină este diurnă. Nivelul sanguin al melatoninei scade de la naștere până la bătrânețe (Hoffer, 1985). Totuși, la primate și la om efectul antigonadotrop al melatoninei nu a putut fi reprodus nici la adulți, nici la copii sau puberi. Nici rolul hormonilor pineali asupra declanșării pubertății, în sensul frânării acestui proces, nu a putut fi demonstrat la om (Lang, 1986). Prin urmare, datele privind rolul antigonadal, dar și alte efecte ale hormonilor pineali observate la unele vertebrate și mamifere, nu pot fi extrapolate la om și la primate.

Reglarea biosintezei melatoninei se realizează prin intermediul fibrelor simpatice ale ganglionilor cervicali superiori, prin fibrele comisurii habenulare și prin fibrele comisurii posterioare. După Korf și Moller (1985) lumina din mediul înconjurător influențează sinteza melatoninei prin căi destul de complicate. Astfel, din retină semnalele fotice codificate neural ajung la nucleul hipotalamic suprachiasmatic prin intermediul tractului retinohipotalamic și geniculohipotalamic.

Apoi, prin nucleul paraventricular și regiunea tuberală a hipotalamusului ajung la hipotalamusul lateral. Neuronii acestuia trimit fibre care fac sinapsă cu neuronii vegetativi din coarnele intermediolaterale ale măduvei toracale superioare, iar fibrele preganglionare ale neuronilor medulari se unesc cu ganglionii cervicali superiori. Fibrele postganglionare simpatice ajung la glanda pineală prin nervii conarii și printr-un contingent de fibre simpatice ce inervează întâi habenula. Această inervație simpatică a pinealei degenerază după extirparea ganglionului cervical superior.

De asemenea, lezarea nucleului suprachiasmatic duce la suprimarea ritmurilor circadiene pineale și a ritmului circadian al sintezei melatoninei. La rândul său nucleul suprachiasmatic funcționează ca ceas endogen sincronizat, în special în ciclul zi-noapte. El permite măsurarea duratei zilei din ciclul zi-noapte prin bioritmul circadian al melatoninei. Fibrele nervoase cerebrospinale studiate de Korf și Moller (1985) și Vollarth (1985) cu origine în hipocampusul paraventricular, în nucleul habenular, în nucleii comisurii posterioare și în corpul geniculat lateral au o distribuție regională în organul pineal. Prin urmare, există și o proiecție directă a impulsurilor nervoase optice din corpii geniculați laterali al organului pineal, fără medierea sistemului vegetativ simpatic.

Terminațiile nervoase pinealopete se află în apropierea pinealocitelor, de care le desparte o membrană bazală (Karasek, 1983). Fibrele simpatice conțin în afară de norepinefrină și serotonină. Lumina suprimă eliberarea norepinefrinei în terminațiile nervoase simpatice postganglionare, în timp ce întunericul stimulează această eliberare (Karasek, 1983). La întuneric pineala răspunde printr-o stimulare netă beta-adrenergică, care în final duce la creșterea cantității de melatonină.

Există și alți factori implicați în sinteza melatoninei ca: temperatura, precipitațiile, câmpul magnetic, hrana etc. (Pévet și colab., 1986).

În afara melatoninei, pineala are hormoni peptidici unanim acceptați, dar a căror structură chimică este puternic controversată. Printre aceștia cităm:



argininvasotocina, angiotensina și treonil-seril-lizina (Milcu și colab., 1963, Hăulică și colab., 1975, Coculescu și colab., 1977). Descoperirea acestora se datorează școlii românești de endocrinologie. Izolarea și elucidarea structurii chimice a hormonilor peptidici pineali va duce la cunoașterea mai exactă a fiziologiei acestui organ.

Fiziologia pinealei La om glanda pineală modulează fotoperiodic excitabilitatea cerebrală și fiziologia somnului prin intermediul bioritmului circadian al melatoninei.

La animale hormonii pinealei participă la sincronizarea fotoperiodică, termică circadiană, sezonieră (aclimatizare) și a altor cicluri vitale cu rol de „ceas biologic”, în corelație cu nucleul hipotalamic suprachiasmatic, principalul generator al bioritmurilor biologice endogene (Sizonenko și colab., 1985). Aclimatizarea animalelor impune modificarea de către pineală și a altor cicluri vitale prin intermediul creierului, principalul receptor al hormonilor pineali (Pévet și colab., 1986).

În ceea ce privește sexualizarea, melatonina întârzie declanșarea pubertății, dar relația dintre pineală și glande este mult mai complexă și necunoscută. Vollrath (1981) a arătat că administrarea subcutanată a melatoninei și a compușilor protidici produce diminuarea greutateii ovariene și uterine și întârzierea dezvoltării organelor accesorii și a testiculelor.

La om efectele pinealei asupra sexualizării și reproducerii nu sunt dovedite. S-ar putea ca independența reproducerii umane față de condițiile mediului extern dobândită cu ajutorul civilizației să mascheze rolul pinealei în modularea funcției gonadale.

Prin intermediul corticulosuprarenalei factorii pineali acționează și asupra metabolismului hidroelectrolitic. Milcu și Nanu (1979) au dovedit că extractul protidic pineal produce o scădere statistic semnificativă a eliminării sodiului urinar la șobolan.

La om, rolul glandei pineale în fiziopatologia tulburărilor vasculare și hidroelectrolitice este complet neinvestigat.

Milcu și colab. (1979), Pou și Cervera (1986) și Mellado și colab. (1986) au arătat că pineala influențează și metabolismul hidraților de carbon.

Astfel, pinealectomia produce la șobolani hipoinsulinemie, hiperglicemie și hiperglucagonemie. Aceste efecte sunt corectate parțial de administrarea melatoninei.

Cercetările privind intervenția pinealei în metabolismul proteic au arătat că extractul pineal induce un efect de tip anabolic, în timp ce pinealectomia exercită un efect de tip opus catabolic (Milcu și colab., 1979).

Pineala are un rol important și în metabolismul lipidic. Milcu și colab., (1979) au arătat că tratamentul pineal produce scăderea colesterolului din ser, bilă și țesut la animalele studiate, în timp ce pinealectomia dă efecte opuse.

Rolul tranchilizant al glandei pineale a fost demonstrat pe animale. Astfel, unii cercetători au dovedit că melatonina administrată sub formă de implante în regiunea preoptică induce somnul sau potențează efectul hexabarbitalului. Pe de altă parte, pinealectomia facilitează producerea atacurilor epileptice.

Funcția și mecanismele prin care pineala influențează creșterea celulelor neoplazice nu sunt clare.

Totuși, Vollrath (1981) afirmă că pineala are un efect inhibitor asupra creșterii tumorilor experimentale la animale și asupra creșterii neoplazice la om. La pacienții cu cancer, ritmul circadian al melatoninei este absent.

La mamifere pineala este o glandă endocrină cu o importantă influență reglatoare asupra adenohipofizei, neurohipofizei, pancreasului endocrin, paratiroidelor, cortexului adrenal, medulei adrenale și gonadelor (Klein 1978, Hăulică și Coculescu 1981, Reiter 1983, 1985 și 1987, Melendowicz 1985). Efectele sale sunt inhibitorii. Astfel, se crede că indolaminele și polipeptidele hormonale secretate de pinealocite reduc sinteza și eliberarea hormonilor porțiunii anterioare, fie prin acțiunea directă asupra celulelor secretorii, fie prin acțiunea indirectă de inhibare a releasing factorilor hipotalamici.

Prođușii secretați de pineală ajung la celulele țintă pe calea lichidului cerebrospinal (Sheridan și colab., 1969, Knight și colab. 1973) sau prin curentul sanguin.

Unele indolamine pineale (melatonina) și unele enzime de sinteză (serotonin N acetiltransferaza) au în glanda pineală a multor mamifere o concentrație și o activitate dependentă de ritmul circadian.

La șobolani, există un oscilator circadian endogen situat în nucleul suprachiasmatic al hipotalamusului a cărui ritmicitate intrinsecă generează comportamentul ciclului pineal (Klein, 1978). Stimulii fotici (în special schimbarea intensității luminii galben-verde) ce acționează asupra pigmentului retinal rodospinoid par să fie implicați în acest ritm (Cardinale, și colab. 1971, Minnemen și colab., 1974), pineala fiind mai activă în întuneric. Animalele cu căile vizuale și simpatice pineale intacte, expuse la lumină după numeroase ore petrecute în întuneric, prezintă o depresie a activității pineale (Klein și Weller, 1972).

Nucleii suprachiasmatici aprovizionați direct de axonii celulelor ganglionului retinal răspund la schimbările produse în sistemul de iluminare (Nishino și colab., 1976). La șobolani, legătura dintre nucleul suprachiasmatic și glanda pineală se face prin intermediul nucleului tegmental și al coloanei toracale spinale superioare intermediolaterale (Saper și colab., 1976). Fibrele simpatice preganglionare ale ultimei formațiuni ajung la ganglionul cervical superior de unde pe calea fibrelor postganglionare sosesc la pinealocite,

Eliberarea catecolaminei din aceste fibre duce prin intermediul receptorilor la creșterea în pinealocite a producției de AMP-ciclic, evocând prin aceasta creșterea activității serotonin-N-acetiltransferazei de la 70 până la 100 de ori. Aceasta are rolul de a regla producția zilnică de melatonină și a nivelului său plasmatic. Atenție deosebită s-a dat inervației sale simpatice, cea parasimpatice rămânând încă necunoscută.

La om, activitatea pinealei influențează ritmul circadian prin modificarea nivelului plasmatic al melatoninei (Vaughan și colab., 1976).



Ca și la alte mamifere, nivelul său crește la întuneric și scade în timpul zilei. Cu toate acestea, mecanismele intime de control demonstrate la animale și la om nu sunt încă rezolvate.

## SUBTALAMUSUL

Subtalamusul este o zonă de țesut cerebral care se întinde între tegmentum-ul mezencefalic și talamusul dorsal. Medial și rostral se află hipotalamusul, iar lateral de acesta capsula internă. Posterior regiunea suboptică este delimitată de extremitatea anterioară a nucleului roșu și a lui locus niger.

Din punct de vedere structural subtalamusul; conține atât fascicule distribuite în toate sensurile, cât și formațiuni cenușii. Printre acestea se află zona incertă, reprezentată de o lamă de substanță cenușie aflată în continuarea stratului reticular al talamusului. Ea are legături cu talamusul, nucleul subtalamic, hipotalamusul și cu căile piramidale. Dedesubtul ei și dorsolateral de porțiunea terminală a substanței negre se găsește un nucleu lenticular biconvex numit nucleul subtalamic sau corpul lui Luys.

Caudal de partea medială a nucleului se află partea cea mai rostrală a substanței negre. Nucleul are culoarea cafelei cu lapte. Principalele fibre aferente vin de la segmentul lateral al lui globus pallidus pe calea fasciculului subtalamic. Studiile după lobotomiile frontale făcute la om au arătat existența fibrelor corticofugale către acest nucleu. Ablația ariei 4 produce o masivă degenerare în câmpurile  $H_1$  și  $H_2$  ale lui Forel și în zona incertă și una mai redusă în nucleul subtalamic.

Fibrele eferente de la corpul lui Luys se proiectează pe partea caudală a segmentului medial al lui globus pallidus. Puține fibre eferente se îndreaptă către globus pallidus controlateral.

Unii autori au constatat legături în ambele sensuri cu talamusul, nucleul roșu, substanța neagră și hipotalamusul.

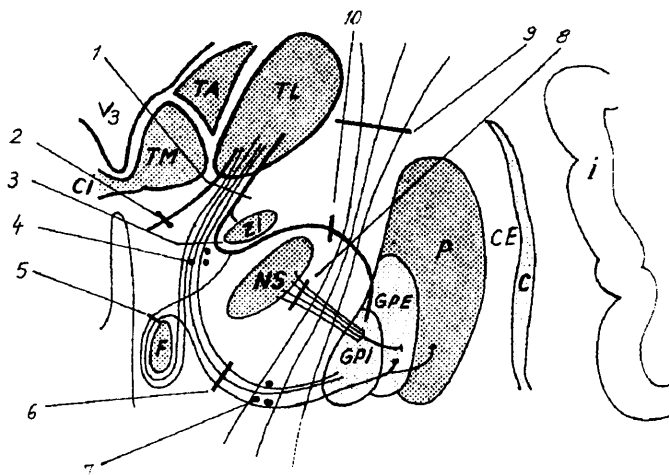
La om discretele leziuni din acest nucleu subtalamic dau naștere unor mișcări involuntare violente și persistente de hemibalism controlateral leziunii. Ele interesează în special musculatura proximală a extremităților superioară și inferioară, precum și musculatura cervicală și facială.

Între nucleul subtalamic și peretele ventriculului mijlociu se găsește câmpul lui Forel (câmpul prerubral), care conține fibre palido-fugale și celule îngroșate ce constituie nucleul câmpului prerubral (nucleus campi Foreli). Acest nucleu împreună cu celulele răspândite de-a lungul căii palidofugale alcătuiesc nucleul reticulat subtalamic.

Porțiunea ventromedială poartă denumirea de câmp H (porțiunea dorsomedială este câmpul  $H_1$ , iar porțiunea ventrolaterală câmpul  $H_2$ ). Fasciculul lenticular (câmpul  $H_2$ ) vine de la globus pallidus și se duce medial. Fasciculul talamic trece prin câmpul  $H_1$  și se duce la nucleul ventral anterior.

Câmpul lui Forel este traversat de lemniscul medial și de fasciculul spinotalamic (fig. 65).

Formațiunile cenușii ale regiunii subtalamică aparțin sistemului motor extrapiramidal.



**Fig. 65.** Subtalamusul, partea dorsală a talamusului și globus pallidus (mase nucleare și sistemul fibrelor de asociație)

1. Fasciculul talamic (Câmpul  $H_3$  al lui Forel); 2. Fibre dentotalamice, rubrotalamice și talamostriate; 3. Câmpul prerubral (Câmpul  $H$  al lui Forel); 4. Nucleii câmpului prerubral sau tegmental; 5. Fasciculul palidohipotamic; 6. Ansa lenticularis; 7. Nucleii entopedunculari; 8. Fasciculul subtalamic; 9. Casula internă; 10. Câmpul  $H_2$  al lui Forel (continuarea fasciculului lenticular).

TA – grupul nuclear anterior al talamusului; TL – grupul nuclear lateral al talamusului; TM – grupul nuclear medial al talamusului; CI – conexiunea intertalamică; V3 – Ventriculul trei; ZI – Zona incertă; F – Coloana Fornixului; NS – Nucleul subtalamic (corpul lui Luys); GPI – Globus pallidus intern

**Fiziopatologia subtalamusului.** Nucleul subtalamic și căile care traversează regiunea sunt în legătură cu funcția motorie somatică.

Nucleul subtalamic împreună cu conexiunile sale cu corpul striat și tegmentul mezencefalic reprezintă locul de integrare a centrilor de control motor. Lezarea directă a unui nucleu subtalamic uman duce la apariția hemibalismului, caracterizat prin mișcări violente de torsiune, necontrolabile, situate controlateral și prin mișcări de tip coreiform, care afectează de obicei musculatura proximală a unui sau a ambelor membre controlaterale. Musculatura facială, cervicală și a trunchiului este mai rar afectată. La maimuțe, hemibalismul apare după ablația unei părți sau mai mult din acest nucleu, cu condiția ca fibrele adiacente lui globus pallidus să rămână intacte. El nu este afectat de ablația tracturilor rubrospinal, vestibulospinal și reticulospinal sau a ariei corticale 6, dar dispare fără pară după distrugerea unui segment medial din globus pallidus, a aferențelor sale și a nucleului talamic



ventral anterior. Această dischinezie poate dispărea cu paraliză restantă prin ablația cortexului motor controlateral (aria 4) sau prin secționarea chirurgicală a tractului corticospinal ipsilateral la nivelul măduvei cervicale superioare. Acest fapt sugerează că nucleul subtalamic exercită în mod normal o influență inhibitoare și de reglare asupra lui globus pallidus și a eferentelor sale care ajung la cortexul motor prin intermediul talamusului (Carpenter, 1960). Impulsurile de la globus pallidus se duc la cortexul motor ipsilateral pe calea nucleului ventrolateral al talamusului, de unde ajung la măduvă prin intermediul tractului corticospinal. Cortexul cerebral joacă un rol important în mecanismul producerii dischineziei, deoarece aproape toate mișcările involuntare dispar în timpul somnului și al anesteziei generale și se accentuează când pacientul devine conștient, precum și în stări de anxietate și iritabilitate.

Clinic și experimental s-a constatat existența relației somatotopice între anumite porțiuni ale nucleului subtalamic și diferitele părți ale corpului afectate de dischinezie. Distrucția părții rostrale a nucleului subtalamic determină dischinezia extremității inferioare, pe când lezarea părții caudale a nucleului determină dischinezia extremității superioare.

## HIPOTALAMUSUL

Hipotalamusul reprezintă mai puțin de 1% din totalul volumului creierului uman și ocupă porțiunea ventro-bazală a diencefalului, ce formează planșeul ventriculului trei. El este singura porțiune din diencefal care apare la suprafață, în zona mijlocie a creierului. Este delimitat de talamus prin șanțurile hipotalamice, iar la suprafață limitele lui sunt reprezentate de chiasmă, tracturile optice și de spațiul perforat posterior.

Înainte spațiului perforat, posterior, apar tuberculii mamilari, care alcătuiesc porțiunea mamilară a hipotalamusului. Rostral de corpii mamilari apare o zonă bombată în direcție inferioară numită tuber cinereum. De partea cea mai declivă a lui tuber cinereum se prinde tija pituitarei, de care este legată hipofiza. Partea inițială a tijei, sub forma unei pâlnii, poartă numele de infundibul. Tija hipofizei se continuă, deci, cranial cu infundibulul și regiunea tuberiană a diencefalului.

Cavitatea ventriculului al treilea pătrunde în infundibul, formând recesul infundibular. Înainte acestuia, în dreptul chiasmei optice, se găsește recesul optic al celui de-al treilea ventricul, format de inserția lamei terminale pe chiasmă.

Porțiunea inferioară a infundibulului se continuă cu lobul neural al hipofizei. Neurohipofiza este formată din porțiunea cea mai lărgită a infundibulului, din tija infundibulară și din lobul neural al hipofizei.

Fiecare jumătate a hipotalamusului poate fi împărțită într-o porțiune supraoptică, una tuberală și una mamilară. Porțiunea supraoptică se află cel mai anterior, porțiunea tuberală se întinde imediat înapoia celei supraoptice, iar porțiunea mamilară este situată cel mai posterior. Între chiasma optică și comisura anterioară se găsește aria supraoptică.

În direcție antero-posterioară, hipotalamusul poate fi împărțit în trei regiuni: anterioară, mijlocie și posterioară. În direcție latero-medială, hipotalamusul poate fi divizat într-o regiune laterală, una medială și una periventriculară.

Regiunea laterală are fibre lungi, care se proiectează către măduva spinării și cortex, și multe fibre scurte constituite în căi multisinaptice ascendente și descendente. Cel mai proeminent sistem din aceste fibre este reprezentat de fasciculul telencefalic medial.

## Nucleii hipotalamusului

Nucleii hipotalamici se împart în patru grupe principale, fiecare cuprinzând mai multe subdiviziuni nucleare. Distingem grupul anterior, mijlociu, lateral și posterior (Fig. 66. și 67).

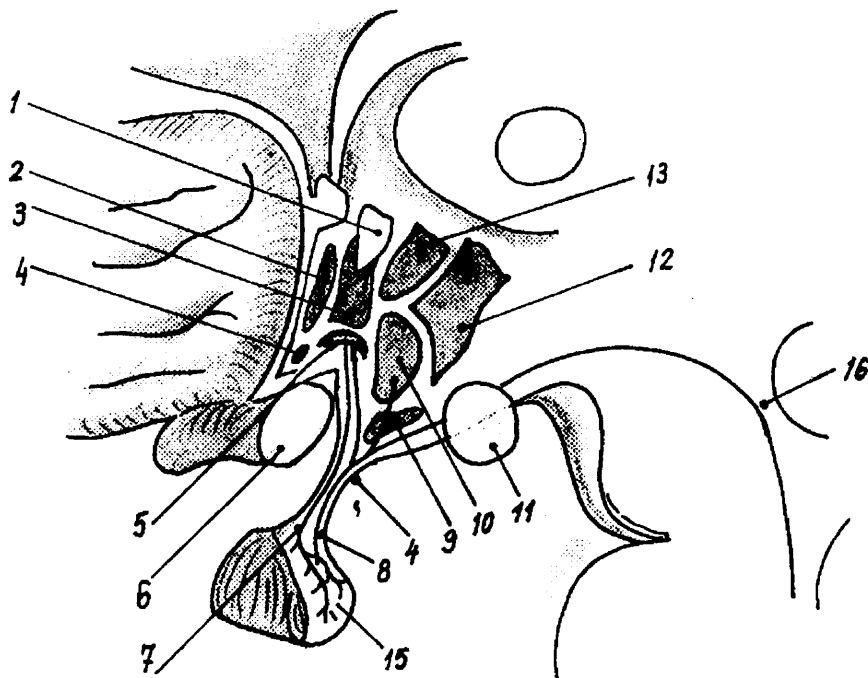


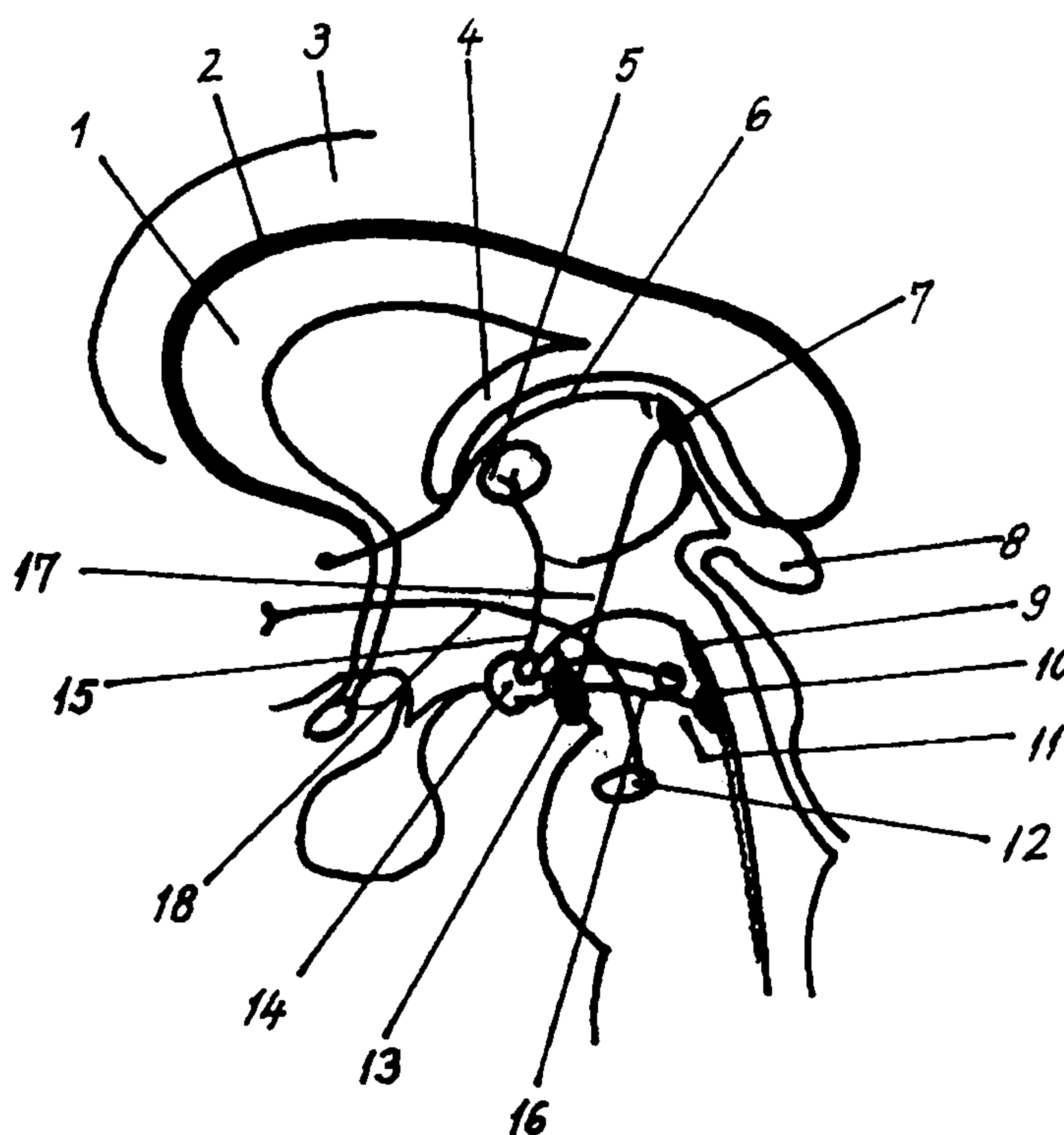
Fig. 66. Schema nucleilor hipotalamici

1. Nucleul paraventricular; 2. Aria preoptică; 3. Nucleul anterior; 4. Nucleul suprachiasmatic; 5. Nucleul supraoptic; 6. Chiasma; 7. Tractul supraopticohipofizar; 8. Tractul tuberohipofizar; 9. Nucleul arcuat; 10. Nucleul ventromedial; 11. Corpii mamilari; 12. Nucleul posterior; 13. Nucleul dorsomedial; 14. Infundibul; 15. Hipofiză; 16. Apeeduct.



**Fig. 67.** Schema unor conexiuni hipotalamice și limbice cu diferiți nuclei

1. Corpul calos; 2. Stria longitudinală; 3. Girus cinguli; 4. Fornix; 5. Grupul nuclear anterior; 6. Stria medulară; 7. Habenula; 8. Pineala; 9. Substanța cenușie centrală; 10. Nucleul tegmental dorsal; 11. Nucleul tegmental ventral; 12. Nucleul central superior; 13. Nucleul interpeduncular; 14. Corpul mamilar; 15. Tractul mamilotalamic; 16. Pedunculul mamilar; 17. Tractul habenulo-interpeduncular; 18. Fasciculul telencefalic medial.



1) Grupul anterior este format din nucleul paraventricular și supraoptic. Nucleul paraventricular constituit dintr-o pătură de celule destul de voluminoase se întinde între stâlpul anterior al trigonului și peretele ventricular. Nucleul supraoptic este situat deasupra chiasmei optice și de-a lungul părții anterioare a lui tuber cinereum.

Produsele de secreție ale acestora sunt transportate la hipofiză prin intermediul axonilor fasciculului supraopticohipofizar și al celui paraventriculohipofizar.

2) Grupul lateral este format din nucleii părții laterale a lui tuber cinereum: nucleul tuberomamilar și nucleii tuberali laterali.

3) Grupul mijlociu cuprinde nucleul hipotalamic ventromedial, nucleul hipotalamic dorsomedial, nucleul hipotalamic ventromedial, nucleul hipotalamic dorsomedial și nucleul infundibular. Nucleul ventromedial se află situat anterior de corpii mamilari și posterior de nucleul supraoptic. Nucleul dorsomedial se află deasupra primului.

Nucleul infundibular este dispus circular în zona de legătură dintre infundibul și tuber cinereum.

4) Grupul posterior cuprinde nucleii tuberculilor mamilari. Celulele ariei talamice posterioare sunt situate deasupra și imediat anterior corpurilor mamilari. Nucleii corpurilor mamilari includ: nucleul mamilar medial care formează protuberanța corpului mamilar și nucleul mamilar lateral, situat între marginea laterală a nucleului medial și baza creierului. Nucleul intercalar se situează în porțiunea dorsală.

Fiecare nucleu al hipotalamusului contribuie la susținerea unor anumite funcții. De exemplu, nucleul paraventricular, o structură mult diferențiată, are grupuri de neuroni ce conțin peptide specifice și combinații de peptide. Acești

neuroni pot fi grupați în neuroni care se proiectează către pituitara posterioară, neuroni care se proiectează la eminența mediană și neuroni care se asociază cu sistemul nervos autonom.

## Conexiunile hipotalamusului

Hipotalamusul, important centru nervos organovegetativ, se caracterizează printr-o bogată rețea de conexiuni atât interne (conexiuni intermediare), cât și externe, cu celelalte componente ale nevraxului (conexiuni aferente și eferente). El constituie o verigă intermediară între talamus și scoarța cerebrală, pe de o parte, și sistemul nervos vegetativ pe de altă parte. Hipotalamusul are o mare influență și asupra sistemului endocrin prin intermediul hipofizei.

Căile aferente care ajung la hipotalamus includ mai multe fascicule:

1) Fasciculul telencefalic medial aduce informații din rinencefal, din câmpurile 6,9 și 11, din așa numita scoarță viscerală (porțiunea anterioară a lui girus cinguli), din porțiunea posterioară a lobului orbital, din polul lobului temporal și din segmentul anterior al circumvoluției hipocampusului, din fornix (trigonul cerebral), din lobul insulei, din corpul striat care ajung fie direct la nucleii preoptici, la nucleul ventromedial și la alți nuclei, fie, indirect, prin întreruperea pe care o fac la nivelul nucleilor talamici, septal, zona incertă etc.

Scoarța cerebrală exercită asupra hipotalamusului o acțiune excitatoare și una inhibitoare (scoarța veche rinencefalică).

Mulți neuroni aminergici cu origine în trunchiul cerebral se proiectează în regiunile neocorticale, pe calea fibrelor fasciculului telencefalic medial și a continuării sale rostrale în fasciculul cingulat.

Conexiunile olfactive, pornite din tractul olfactiv lateral, se termină în mare parte în porțiunea corticomedială a amigdalei, de unde ajung la hipotalamus pe calea striei terminale. Alte impulsuri din regiunea corticomedială a amigdalei merg la porțiunea ei bazolaterală și de aici la circumvoluția hipocampică, de unde pe calea fimbrii-fornix ajung la ariile septale, preoptice și la hipotalamus.

2) Fasciculul talamohipotalamic pornește de la nucleii talamici mediali ai liniei mediale și de la nucleii anteriori.

3) Fornixul are fibre care unesc hipocampusul cu corpii mamilari. La nivelul comisurii anterioare fornixul se împarte într-o componentă precomisurală care ajunge la aria preoptică și la hipotalamusul anterior și în una postcomisurală, care se distribuie la corpii mamilari, la aria hipotalamică laterală, posibil și la nucleul hipocampic ventromedial.

4) Stria terminalis este compusă din fibre, care pornesc din amigdală, merg de-a lungul nucleului caudat în peretele cornului inferior și al corpului ventricular și ajung la comisura anterioară și la nivelul nucleului ventromedial al hipotalamusului.

5) Fibrele palidohipotalamice trec de la nucleul lenticular la nucleul hipotalamic ventromedial prin ansa lenticulară și prin fasciculul lenticular. Mai există aferențe hipotalamice și de la nucleul lui Luy și de la zona incerta.



6) Pedunculul mamilar inferior transmite fibre de la tegmentul mezencefalic, de la lemniscul medial care conține și fibre gustative (tractul secundar ascendent gustativ), de la substanța reticulată și de la substanța neagră. Există și fibre directe spinotalamice, care desprinzându-se de fasciculele spinotalamice duc la hipotalamus impulsuri provenite din teritoriul visceral.

Hipotalamusul este în legătură și cu aparatul vizual prin rădăcina retinohipotalamică a chiasmei optice. Fibrele acestuia provin din celulele vegetative ale retinei, trec prin nervii optici, chiasma optică și ajung prin lama terminală în nucleul hipotalamic paraventricular și infundibular în tija pituitară și în lobul posterior al hipofizei.

Prin aceste legături, semnalele luminoase pot influența sistemul vegetativ atât direct, cât și prin intermediul hipofizei.

Căile eferente sunt multiple și se întind atât în direcție ascendentă, cât și descendentă.

1) Tractul hipotalamicohipofizar este format din fasciculul supraopticohipofizar, din fasciculul paraventriculohipofizar și din fasciculul tuberoinfundibular. Hipotalamusul este legat de epitalamus prin fibre hipotalamohabenulare.

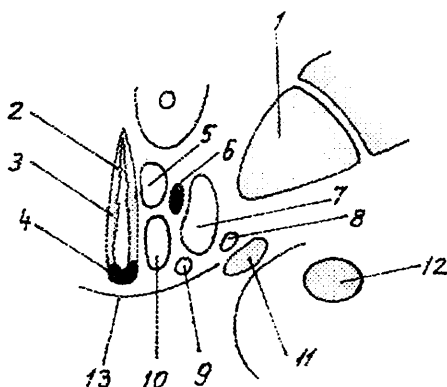
2) Tractul mamilotegmental se îndreaptă către substanța cenușie din jurul apeductului lui Sylvius și către nucleul interpeduncular. Mai jos, acest fascicul intră în legătură cu formațiuni ale calotei mezencefalice și pontine. Impulsurile iau apoi calea fasciculului longitudinal dorsal pentru a ajunge la neuronii motori și preganglionari. Se pare că tractul mamilotegmental se leagă și cu sistemul motor extrapiramidal.

3) Tractul hipotalamotalamic are o mare importanță, deoarece realizează legătura ascendentă dintre talamus și scoarța cerebrală. În această categorie intră fasciculul mamilotalamic (fig. 68) al lui Vicq d'Azyr, care duce impulsuri de la corpii mamilari la grupul nuclear anterior al talamusului. La tuberculii mamilari se termină și stâlpul anterior al trigemenului. Fasciculul lui Vicq d'Azyr, după un scurt traiect ascendent se bifurcă într-o ramură anterioară și una posterioară. Ramura anterioară se termină în nucleii anteriori ai talamusului, care se proiectează la rândul lor pe girus cinguli, iar ramura posterioară alcătuiește fasciculul mamilotegmental.

4) Sistemul periventricular include fasciculul longitudinal dorsal al lui Schutz, compus din fibre care vin de la ariile hipotalamice anterioare, paraventriculare, dorsale și posterioare, de la nucleii hipotalamici dorsomediali, de la substanța cenușie periventriculară și de la corpii mamilari. El conține fibre ascendente și descendente care unesc substanța cenușie periapeductală cu hipotalamusul. Acest fascicul trimite fibre la tuberculii (coliculi) cvadrigemeni, la toți nucleii vegetativi ai trunchiului cerebral, la nucleii motori ai rombencefalului și la substanța reticulată din jurul apeductului, din punte și din bulb.

5) Tractul tuberohipofizar conține fibre care pleacă de la porțiunea tuberală a hipotalamusului și ajung la pituitara posterioară.

Majoritatea fibrelor hipotalamice sunt bidirecționale. Proiecțiile către și de la ariile caudale spre hipotalamus sunt înglobate în fasciculul telencefalic medial, în tractul mamilotegmental și în fasciculul longitudinal dorsal. Structurile rostrale



**Fig. 68.** Schema frontală a nucleilor hipotalamici

1. *Globus pallidus*; 2. Ventriculul trei; 3. Nucleul periventricular; 4. Nucleul arcuat; 5. Nucleul hipotalamic dorsomedial; 6. Fornixul; 7. Aria hipotalamică laterală; 8. Nucleul supraoptic; 9. Nucleul tuberal lateral; 10. Nucleul hipotalamic ventromedial; 11. Tractul optic; 12. Amigdală; 13. Eminența mediană.

sunt interconectate cu hipotalamusul prin intermediul tractului mamilotalamic, fornix și stria terminalis. Există două excepții importante de la această regulă a bidirecționalității fibrelor hipotalamice. Tractul hipotalamo-hipofizar conține numai axonii descendenți ai neuronilor paraventricular și supraoptic ce se termină în pituitara posterioară. Hipotalamusul are o conexiune aferentă directă, cu sens unic de la retina. Aceste fibre se termină în mod primar în nucleul suprachiasmatic, implicat în generarea ciclului lumină-întuneric (ciclul circadian).

### Funcțiile hipotalamusului

Una din funcțiile sistemului nervos este aceea de a menține constantele mediului intern. Deși întregul creier este implicat în homeostazie, neuronii care controlează direct mediul intern sunt concentrați în hipotalamus. Prin intermediul acestuia mediul intern al corpului este reglat de trei mari sisteme: neuroendocrin, autonom și motivațional.

### Reglarea sistemului neuroendocrin

Prin controlarea sistemului endocrin și a sistemului nervos autonom hipotalamusul, împreună cu structurile sistemului limbic, cu care are strânse legături, acționează direct asupra mediului intern pentru a-i menține constantele (homeostazia).

Controlarea emoțiilor și a comportamentului emoțional se face în mod indirect de către hipotalamus. În reglarea expresiei emoționale și a reproducerii, hipotalamusul acționează în conjuncție cu formațiunile înalte de control ale sistemului limbic și cu neocortexul. În reglarea comportamentului motivațional specific, hipotalamusul și cortexul cerebral mențin fenomenul de trezire sau starea generală conștientă.



Gradele de trezire variază de la conștient până la apatie, somnolență și comă.

Conform datelor anatomice, hipotalamusul conține un mare număr de nuclei și circuite neuronale care reglează diverse funcții vitale: temperatura, ritmul cardiac, tensiunea arterială, osmolaritatea sanguină, ingestia de apă și alimente. De asemenea, hipotalamusul are un rol important și în organizarea motorie a răspunsurilor endocrine, constituite în comportamente emoționale adaptative.

Studiile de pionierat asupra funcțiilor hipotalamice au fost făcute experimental pe animale de către Hess (1924-1930) prin stimulări electrice. Ulterior, studiile clinice, implantele hormonale, ablația unor arii hipotalamice și datele anatomoclinice provenite de la bolnavii cu diferite leziuni hipotalamice au clarificat mult fiziologia hipotalamusului.

O funcție de prim ordin a hipotalamusului este aceea de a controla, prin intermediul infundibulului, al tijei, al sistemului port și al „factorilor de eliberare” (releasing factors) transmiși pe calea sistemului portal, activitatea glandei pituitare. Gradul de activitate al acestor neuroni particulari ai hipotalamusului depinde de stimulii neurali care iau naștere în organism și în afara lui, precum și de activitatea hormonală a variatelor organe țintă, cum sunt glandele tiroida, suprarenala și ovarul. Printr-un mecanism feedback, hipotalamusul și hipofiza sunt influențate de hormonii secretați de organele țintă. De fapt, hipotalamusul poate fi influențat și de către hormonii hipofizari printr-un scurt inel feedback.

Alte niveluri neurale constituite din complexul amigdaloid, hipocamp și regiunea orbitală a lobului frontal pot fi, de asemenea, implicate în reglarea endocrină. Probabil că ele nu își exercită reglarea direct pe calea circuitului pituitar. Totuși, nu a fost posibilă o localizare specifică de control a unui hormon al hipofizei anterioare de către un nucleu hipotalmic delimitat, ca în cazul relației dintre nucleii supraoptic și paraventricular și hipofiza posterioară.

Funcțional, tractul tubero-infundibular și sistemul port hipofizar stabilesc legătura neurohormonală dintre hipotalamus și hipofiză. În condiții de stres, granulele de neurosecretori dispar din fibrele nervoase, iar factorul de eliberare (releasing factor) a hormonului adrenocorticotrop (ACTH) este prezent în plasma obținută din vasele portale.

Infundibulul conține o concentrație mare de acetilcolină, iar corpii celulelor și fibrele sistemului tubero-infundibular conțin dopamina. O acțiune directă a dopaminei asupra hipofizei pare să fie exclusă, dar creșterea dopaminei în nucleul arcuat are loc în graviditate, pseudograviditate și în timpul lactației.

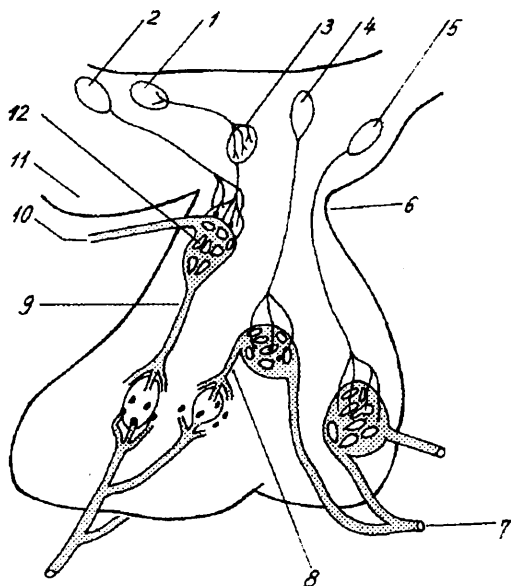
Glandele endocrine (ovarul, testiculul, tiroida, cortexul adrenal, etc.) pot funcționa și după transplantarea lor la distanță, dar hipofiza nu poate fi transplantată în altă parte și să funcționeze, deoarece ea este dependentă și în strânse relații cu hipotalamusul și structurile sale esențiale, ca tractul tubero-infundibular și sistemul port hipofizar.

Rolul celulelor hipotalamice neuroendocrine peptidergice. Mulți neuroni hipotalamici sunt specializați în sinteza și secreția peptidelor, iar un astfel de neuron eliberează mai mult decât o peptidă. Peptidele ajung fie în spațiul sinaptic, unde acționează ca neurotransmițători, fie în circulația sanguină, prin intermediul căreia

acționează la distanță ca hormoni. Ele controlează excitabilitatea neuronală (funcție modulară) și eficacitatea sinaptică. Aceste acțiuni de durată prezintă importanța pentru o mare varietate de funcții comportamentale ca: dispoziția, starea motivațională și învățarea.

Totuși, una din cele mai importante funcții ale neuronilor peptidergici hipotalamici se referă la controlul sistemului endocrin. Această funcție este îndeplinită direct sau indirect.

Funcția directă se exercită prin secreția produșilor neuroendocrini în circulația generală prin intermediul vaselor sanguine ale neurohipofizei (lobul neural sau pituitara posterioară), în timp ce funcția indirectă se face prin deversarea reglatorilor hormonal în plexul portal local din eminenta mediană, care drenează în vasele sanguine ale pituitarei anterioare (adenohipofiză) (fig. 69).



**Fig. 69.** Elementele funcționale prin care hipotalamusul își exercită controlul asupra pituitarei.

1. Neuronii monoaminergici care se termină în mod obișnuit pe corpul celulelor neuronilor peptidergici; 2. Neuronii monoaminergici care se termină pe partea terminală a axonilor neuronilor peptidergici prin sinapse axo-axonice; 3 și 4. Neuronii peptidergici care reglează pituitara anterioară. Unii formează releasing hormoni care intră în plexul capilar al vaselor parte hipofizare iar ceilalți fac legătură între restul creierului și neuronii peptidergici; 5. Neuronii peptidergici care eliberează oxitocina și vasopresina în circulația generală pe calea pituitarei posterioare; 6. Tija pituitarei; 7. Artera hipofizară inferioară; 8. Vase parte scurte; 9. Artere parte lungi; 10. Artera hipofizară superioară; 11. Hipotalamus; 12. Eminența mediană.

Hormonii reglatori hipotalamici, eliberatori sau inhibitori, controlează sinteza și eliberarea hormonilor pituitarei anterioare în circulația generală. Unii neuroni primesc și transmit informația electrică, iar celulele endocrine eliberează produșii secretați în curentul sanguin. Acestea funcționează ca transductori neuroendocrini ce convertesc informația neurală în informație hormonală. Legăturile vasculare care conectează hipotalamusul cu pituitara (sistemul port hipotalamopituitar) transmit informația hormonală de la hipotalamus la pituitară.

Acest fapt stă la baza neuroendocrinologiei moderne și contribuie, la înțelegerea controlului hipotalamic asupra activității endocrine.

Controlul endocrin direct și cel indirect sunt mediate de două clase distincte de neuroni peptidergici neuroendocrini (neuroni magnocelulari și parvocelulari). La



ambele clase de neuroni, neurohormonii sau precursorii peptidici sintetizați în corpul celulei sunt depozitați în vezicule neurosecretorii care sunt transportate la capătul terminal al axonilor. De la acest nivel ei sunt eliberați când neuronii sunt stimulați.

Neuronii neuroendocrini parvocelulari (mici) sunt localizați în numeroase regiuni hipotalamice: în nucleul paraventricular și preoptic, în regiunea periventriculară, în nucleii arcuat și tuberal și în regiunea bazală medială.

Peptidele secretate de neuronii parvocelulari ajung în vasele portale și au rolul de a stimula sau inhiba secreția glandei pituitare anterioare.

**Sistemul neurosecretor magnocelular.** Neuronii neuroendocrini magnocelulari sunt localizați în nucleul supraoptic și paraventricular. Unele din aceste celule eliberează hormonul neurohipofizar oxitocin, iar altele eliberează în circulația generală, pe calea pituitarei posterioare, vasopresina.

Capilarele pituitarei posterioare și ale eminentei mediane sunt mult fenestrate, ceea ce facilitează intrarea hormonilor magnocelulari prin intermediul pituitarei posterioare, în circulația generală și a hormonilor parvocelulari în plexul portal din eminente mediană.

**Vasopresina.** Oliver și Schafer (1895) au demonstrat că extractele hipofizare totale injectate i.v. produc creșteri ale presiunii arteriale. Howel (1898) a obținut creșterea tensiunii arteriale numai cu extractul de lob posterior. De aici vine și denumirea de vasopresină dată hormonului retrohipofizar. S-a precizat apoi că în neurohipofiză există doi hormoni (vasopresina și oxitocina) care sunt doar depozitați aici, ei fiind secretați de neuronii magnocelulari ai hipotalamusului anterior (nucleii supraoptic și paraventricular). În anul 1950 Vincent du Vigneaud a determinat secvențele aminoacide ale oxitocinei, iar după patru ani a descoperit secvențele vasopresinei, demonstrând că aceste funcții hormonale ale creierului sunt mediate de către peptide.

Cei doi hormoni, având diferiți doar doi aminoacizi retrohipofizari, au mari analogii structurale și, ca urmare, au și anumite suprapuneri ale efectelor lor, vasopresina având o minimă acțiune ocitocică, iar oxitocina o minimă acțiune antidiuretică. Având la origine un precursor comun, prohormonii vasopresinei și oxitocinei sunt sintetizați din peptide hormanale în corpii celulelor neuronilor magnocelulari, după care sunt scindați în interiorul veziculelor în timpul transportului acestora către axon. Peptida denumită neurofizin reprezintă produsul prin a cărui scindare iau naștere vasopresina și oxitocina. Totuși, neurofizina din neuronii care eliberează vasopresina diferă de cea produsă de neuronii care eliberează oxitocina. În fine, fiecare neurofizină este eliberată împreună cu hormonul său la nivelul terminalelor din pituitara posterioară. În acest mod, neuronii peptidergici eliberează în circulația generală oxitocina și vasopresina, prin intermediul lobului neural al pituitarei. Descărcările de vasopresină sunt controlate de modificările osmolarității și volumului lichidelor extracelulare și ale plasmei, deplețițiile volemice și hipotensiunea reprezentând stimulii cei mai puternici.

Senzația de sete contribuie la corectarea tulburărilor osmotice și volemice ale lichidelor organismului. Variațiile osmolarității plasmatice sunt sesizate de osmoreceptori cu sediu central (hipotalamic - creasta supraoptică) și periferic (din carotida internă și mai ales din ramurile sistemului port).

Funcțional, vasopresina produce vasoconstricție și reabsorbția apei de către rinichi. În doze fiziologice vasopresina nu influențează tonusul vascular, dar în doze mari, neatinse în condiții obișnuite, are efecte vasopresoare prin efectul său direct asupra musculaturii netede din pereții arteriolari. Vasopresina contribuie la corectarea hipovolemiilor acute prin vasoconstricție și prin creșterea reabsorbției de apă în segmentele terminale ale nefronului.

Concentrația plasmatică a hormonului în condițiile unui aport hidric normal este de 2,5-7,5 pg/ml. Vasopresina circulă liberă în sânge nelegată de nici o proteină, ceea ce face ca volumul său de distribuție să corespundă cu cel al lichidelor extracelulare. La om, timpul de înjumătățire a hormonului din circulație este în medie de 48 minute.

Inactivarea are loc în special în rinichi și secundar în ficat, iar circa 10% din cantitatea de vasopresină se elimină prin urină sub formă de hormon activ.

Cea mai importantă acțiune fiziologică a vasopresinei se referă la creșterea permeabilității membranei luminală a tubilor contorți și a canalelor colectoare (segmentele terminale ale nefronilor) pentru apă. Aceasta duce la creșterea concentrației urinii și la scăderea volumului său. În absența vasopresinei (hormonul antidiuretic) se reduce foarte mult permeabilitatea pentru apă a segmentelor terminale ale nefronilor, urina tubulară se menține foarte hipotonă, iar fluxul urinar ajunge până la 15-20 litri/24 ore. Hormonul antidiuretic (vasopresina) crește nu numai reabsorbția apei, dar și cea a ureei în tubii colectori, favorizând astfel sarcina osmotică a lichidelor interstițiale a medulei renale.

Injectarea intraventriculară de anticorpi antivasopresină (Van Wimersma și colab., 1975), ablația neurohipofizei și lipsa secreției vasopresinei la șobolanii dirijați genetic duc la stingerea unui reflex de evitare și la dispariția rapidă a unui comportament învățat. Aceste cercetări au demonstrat că vasopresina intervine în mecanismul învățării și memoriei, fără a se cunoaște modul cum se realizează acest efect demonstrat și la om. Unii consideră că vasopresina acționează ca neurotransmițător, iar alții cred că acest hormon influențează sinteza ARN-ului, peptidelor și neurotransmițătorilor.

Oxitocina. Oxitocina este sintetizată în aceiași nucleii hipotalamici care utilizează și vasopresina, dar predomină în nucleul paraventricular. Procesul de sinteză a hormonului are loc în ribozomii corpului neuronilor secretori după care, în reticulul endoplasmic, prehormonul pierde peptida semnal.

Apoi, complexul format din oxitocină și neurofizină este preluat de aparatul Golgi și deplasat sub formă de granule secretoare de-a lungul axonilor până la terminarea acestora în neurohipofiză. În cursul transportului axonic oxitocina se separă de neurofizină și se descarcă împreună prin procesul de exocitoză. Concentrația plasmatică de oxitocină variază între 0,5 și 2  $\mu$ U/ml atât la femei, cât și la bărbați. Ea circulă liberă în sânge, nelegată de nici o proteină. Timpul de înjumătățire a hormonului este de 3-5 minute. Înlăturarea din circulație se datorează oxitocinazei plasmatică, rinichiului, ficatului, uterului și glandelor mamare.

Efectele oxitocinei cunoscute de multă vreme se referă la contracția uterină (Dale, 1909) și ejecția lactată (Ott și Scott, 1910).



La bărbați, acțiunile fiziologice ale hormonului rămân încă obscure dar efectele oxitocice ale acestuia sunt accentuate de estrogeni și inhibate de progesteron.

Reglarea descărcărilor de oxitocină stocată în neurohipofiză se face pe calea unor reflexe neuroendocrine. Impulsurile provenite de la receptori cu distensie din canalul genital, precum și cele provenite de la receptori tactili de la nivelul mamelonului se transmit până la mezencefal, la structurile serotoninergice și dopaminergice, după care prin fasciculul lui Schutz și corpii mamilari acestea ajung la nucleii paraventricular și supraoptic, unde au ca efect descărcarea oxitocinei stocată în neurohipofiză.

Alcoolul, serotonina și stresul inhibă descărcările de oxitocină și vasopresină, iar dopamina le stimulează.

**Sistemul neurosecretor parvocelular.** Neuronii parvocelulari secretă hormoni inhibitori și eliberatori (releasing).

Majoritatea hormonilor pituitarei anterioare sunt controlați de către neurohormonii peptidici sintetizați de neuronii mici care își eliberează produșii în capilarele eminentei mediane. Structura hormonilor care reglează pituitara anterioară a fost descoperită și caracterizată de către Guillemin (1978) și Schally (1978).

Neuronii parvocelulari ai hipotalamusului conțin deci substanțe care eliberează sau inhibă eliberarea hormonilor pituitarei anterioare.

A) Din grupa substanțelor hipotalamice care stimulează eliberarea hormonilor pituitarei anterioare fac parte:

- TRH (thyrotropin releasing hormone - hormonul sau factorul de eliberare a tirotropinei);
- CRH (corticotropin releasing hormone - hormonul sau factorul de eliberare a corticotropinei);
- GnRH (gonadotropin releasing hormone - hormonul sau factorul de eliberare a gonadotropinelor) sau FSHRF (follicle stimulating hormone releasing factor - factorul de eliberare a hormonilor foliculari);
- PRF (prolactin releasing factor - factorul sau hormonul de eliberare a prolactinei);
- LHRH (luteinizing hormone releasing hormone - hormonul sau factorul de eliberare a hormonului luteinizant);
- GHRH sau GRH (growth hormone releasing hormone - hormonul sau factorul de eliberare a hormonului de creștere), sau STH-RF (factorul de eliberare a somatotropinei);
- MRH (melanocyte releasing hormone - hormonul sau factorul de eliberare a melanotropinei), sau MSHRF (factorul de stimulare a melanocitelor);

Hormonul de eliberare a tirotropinei (TRH) eliberează la nivelul pituitarei anterioare tiotropina și prolactina.

Hormonul sau factorul de eliberare a corticotropinei (CRH) se găsește răspândit în numeroase regiuni ale hipotalamusului, dar cel care este eliberat la nivelul eminentei mediane și acționează asupra pituitarei eliberând adrenocorticotropina își are originea în neuronii parvocelulari ai nucleului paraventricular.

GnRH eliberează LH și FSH; GRH eliberează hormonul de creștere (GH), PFR eliberează prolactina, iar MRH eliberează hormonul de stimulare a melanotropinei și beta endorfina.

B) Din grupa substanțelor hipotalamice inhibitoare fac parte:

- PIH ( prolactin releasing inhibiting hormone - hormonul sau factorul de inhibare a prolactinei), dopamina;
- GIH sau GHRIH (growth hormone releasing inhibiting hormone - hormonul inhibitor al eliberării hormonului de creștere), somatostatinul;
- MIF sau MSHIF (melanocyte stimulating release inhibiting factor - factorul inhibitor de eliberare a hormonului melanocitic).

Hormonul pituitar anterior corespunzător PIH este prolactina, cel care corespunde GIH este GH(hormonul de creștere), iar cel care corespunde MIF este MSH (hormonul de stimulare a melanocitelor).

Prin urmare, majoritatea hormonilor pituitarei anterioare sunt controlați de neurohormonii peptidici sintetizați la nivelul neuronilor mici și eliberați în capilarele eminentei mediane. Aceștia accentuează sau inhibă substanțele respective. De exemplu, eliberarea hormonului de creștere este stimulată de GHRH și inhibată de somatostatin. Eliberarea prolactinei este inhibată de dopamina din eminența mediană. Uneori, un singur releasing factor afectează mai mult de un hormon pituitar.

În general secreția hormonală este pulsatilă, iar concentrația sanguină a acestora în decursul unei zile se prezintă sub forma unor valuri. Acest patern este eficace pentru eliberarea peptidelor, dar stimularea periodică a receptorilor poate limita inactivarea.

C) Există și peptide hipotalamice a căror structură este cunoscută, dar al căror rol fiziologic este incomplet elucidat. Din acestea fac parte : Substanța P (factor de permeabilitate) neurotensina (factor de creștere a presiunii sanguine), angiotensina 2 (agent implicat în comportamentul de sete și în secreția de ADH), leucin-enkefalina, metioninenkefalina, endorfinele alfa, beta, gama, etc. (compuși care interacționează cu receptorii opiacei endogeni cerebrali), peptidul intestinal vasoactiv, gastrina, colecistochinina și calcitonina cu funcții cerebrale necunoscute.

Neuronii magnocelulari și parvocelulari conțin peptide multiple răspândite în tot sistemul nervos. În afara hormonilor reglatori amintiți, în hipotalamus sunt întâlnite peptide opioide,  $\beta$ -endorfina, enkefalina, angiotensina II, substanța P, neurotensina, colecistochinina și alte peptide. Aproape fiecare tip de neuron peptidergic care a fost studiat cu atenție, inclusiv neuronii hipotalamici parvocelulari și magnocelulari, conțin mai mult decât o peptidă. De exemplu, unii neuroni parvocelulari din nucleul paraventricular conțin CRH și vasopresină, care sunt eliberate împreună de eminența mediană. Interesant este faptul că acțiunea CRH de eliberare a ACTH-ului de către pituitară este mult potențată de vasopresină. Acest fapt demonstrează că cele 2 substanțe acționează sinergic (Kupferman, 1991).

Unele peptide eliberate de neuronii parvocelulari și magnocelulari ai hipotalamusului au fost descoperite și în alte regiuni ale sistemului nervos, cum ar fi terminațiile neuronului hipotalamic parvocelular, care se proiectează în regiunea



măduvei spinării și a creierului, în timp ce altele sunt sintetizate extrahipotalamic. Astfel, CRH este larg distribuită în neuronii structurilor limbice și în nucleii legați de sistemul nervos autonom.

Neuronii nucleului arcuat care conțin adrenocorticotropin,  $\beta$ -endorfină și peptide înrudite se proiectează în hipotalamus, în substanța cenușie periapeductală, în structurile limbice (nucleul accumbens, nucleul pat al striei terminalis și amigdala), și în majoritatea nucleilor cerebrali cu conținut catecolaminic.

Nucleul paraventricular împreună cu proiecțiile sale peptidergice magnocelulare din pituitara posterioară trimit axoni la neuronii parvocelulari cu conținut vasopresinic și oxitocinic, la locus ceruleus, la nucleul solitar, la complexul vagal dorsal și la coloanele celulare intermediolaterale ale măduvei spinării (Kiss, 1988).

Aceste proiecții peptidergice sunt structurate în vederea coordonării răspunsurilor autonome și neuroendocrine. De exemplu, eliberarea regulată a peptidelor cerebrale din locuri situate în afara eminentei mediane poate modula comportamentul independent de factorii de eliberare a hormonilor pituitari. Efectele comportamentale ale peptidelor reglatoare se leagă de efectele endocrine produse de peptidele care acționează asupra pituitarei. Astfel, injectarea intraventriculară a CHR evocă multe reacții și comportamente autonome constatate în stres.

### **Neuronii hipotalamici participă la patru clase de reflexe**

Deși hipotalamusul are inputuri și outputuri neurale și humorale, el participă la patru clase de reflexe (Kupferman, 1991).

1. Reflexe convenționale, care implică inputuri și outputuri neurale.
2. Reflexe în care inputurile hipotalamice sunt neurale iar outputurile sunt humorale.
3. Reflexe în care inputul este humoral, iar outputul este neural.
4. Reflexe în care atât inputul, cât și outputul sunt humorale.

Este cunoscut faptul că un comportament tipic implică mai mult de unul din aceste moduri de reflexe hipotalamice. De exemplu, ejecția lactală și contracția uterină sunt reglate de un input natural și de un output hormonal. Contracția celulelor mioepiteliale ale glandei mamare este dată de oxitocina nucleilor supraoptic și paraventricular. Oxitocina mărește și amplitudinea contracției mușchiului neted uterin în cazul în care acesta este pus în stare de funcționare de către estrogeni.

Această acțiune hormonală facilitează expulzia fătului în timpul nașterii. În acest mod celulele de oxitocin participă la realizarea unui reflex relativ simplu, în care calea aferentă este neurală, iar cea eferentă este humorală (reflex 2).

Toți produșii hipotalamici de neurosecreție, deci și oxitocina, pot fi reglați de structurile cerebrale înalte. Astfel, privirea sau țișatul unui sugar pot provoca în perioada de lactație a mamei ejecția laptelui. Probabil că influențele corticale excitatoare acționează prin intermediul proiecțiilor hipotalamice asupra celulelor cu conținut de oxitocină. Oprirea reflexă a ejecției lactate, în caz de anxietate și teamă, este determinată de influența inhibitoare a cortexului cerebral asupra aceluiași celule.

- Un reflex de categoria a treia, în care intră un input humoral și un output neural este reprezentat de efectele centrale ale hormonilor asupra comportamentului.

Deși unii hormoni au o largă circulație cerebrală, numai anumiți neuroni posedă receptori pentru aceștia. Prin urmare, acțiunea hormonilor circulanți este specifică, astfel încât un hormon care traversează bariera hematoencefalică și este eliberat în spațiul extracelular sau în lichidul cerebrospinal activează sau inhibă numai o anumită populație neuronală restrânsă. Totuși efectele hormonale asupra celulelor sistemului nervos central sunt lente, deoarece reglează pe termen lung excitabilitatea sau eficacitatea sinaptică. Aceste acțiuni hormonale sunt implicate în modificarea stării comportamentale, a dispoziției sufletești și în declanșarea modelelor motorii complexe, în care detaliile sunt dependente de acțiunile transmițătorului convențional. Acțiunea steroizilor și a hormonilor tiroidieni asupra hipotalamusului și a altor formațiuni depinde de receptori care acționează ca factori de reglare a transcripției. În timpul dezvoltării, acești hormoni modifică și diferențiază stările și conexiunile neuronale. În creierul adult aceiași hormoni modifică în mod reversibil expresia neuropeptidelor, neuroreceptorilor, enzimelor și proteinelor structurale.

- Un reflex de categoria a patra în care atât inputul, cât și outputul sunt humorale, este reprezentat de fluxul urinar.

Nucleii supraoptic și paraventricular conțin neuroni care eliberează și vasopresină. Vasopresina modifică permeabilitatea membranei ducturilor colectoare și pe cea a tubulilor contorți renali, astfel încât membrana lor să devină mai permeabilă la apă. Ca rezultat recuperarea apei după filtrare este facilitată, iar volumul urinar scade. În acest mod apa poate fi păstrată în corp. Din această cauză vasopresina mai poartă numele și de hormon antidiuretic.

În contrast cu neuronii care eliberează oxitocina în rafale, neuronii care eliberează vasopresina mențin în sânge o anumită concentrație hormonală, care scade sau crește în funcție de cerințele fiziologice.

Când animalul este privat de apă, neuronii care eliberează vasopresina acționează mai rapid și în impulsuri. Când animalul este bine hidratat, punerea în circulație a hormonului antidiuretic este mai lentă.

Prin urmare, neuronii hipotalamici implicați în eliberarea vasopresinei răspund direct la starea mediului intern, sanguin dar și la funcțiile căii neuronale aferente. Răspunsul direct la factorul humoral a fost susținut de Verney (1947). Astfel s-a demonstrat că celulele care produc vasopresină, precum și alte celule hipotalamice cum ar fi neuronii circumventriculari localizați în structuri cu barieră hematoencefalică slabă, răspund direct la stimulii osmotici și la modificarea concentrației sanguine a ionilor de Na. Există totuși și alți mediatori humoral care afectează în mod direct sau indirect eliberarea vasopresinei. De exemplu, agenții anestezici și unii hormoni circulanți (angiotensina II) măresc eliberarea vasopresinei în timp ce etanolul o scade.

Eliberarea vasopresinei este controlată și de inputurile naturale provenite de la receptori volumului sanguin din vasele sanguine. Diminuarea volumului sanguin accentuează eliberarea vasopresinei, în timp ce creșterea acestuia o inhibă. Și receptori cutanați de temperatură pot afecta eliberarea vasopresinei. Astfel, frigul



inhibă eliberarea vasopresinei, în timp ce căldura o accentuează pentru a conserva apa în cazul pierderii acesteia prin transpirație.

În fine, voma se asociază cu o puternică eliberare de vasopresină (Kupfermann, 1991).

Bucula feedback, în care inputul și outputul sunt humorale, reprezintă un alt exemplu de reflex din categoria a patra.

Un hormon produs la nivelul unei glande endocrine periferice (de exemplu hormonii steroizi tipici care traversează bariera hematoencefalică) poate fi eliberat în cantitate mai mică, datorită inhibiției cerebrale directe sau a pituitarei anterioare. Această funcție se realizează printr-o buclă feedback lungă, în care intră neuronii hipotalamici și cei din sistemul limbic care posedă receptori hormonal.

Din datele de mai sus, putem constata că hipotalamusul este implicat în mai multe răspunsuri stereotipe și automate.

Mulți neuroni hipotalamici care controlează eliberarea hormonilor endocrini circulanți suferă modificări structurale și biochimice sub influența acestora, dar și ca răspuns la cerințele comportamentale curente. Acest efect feedback poate avea o durată mai lungă sau mai scurtă. De exemplu, glucocorticoizii injectați la un animal sau cei eliberați de glanda adrenală după stres acționează rapid asupra neuronilor care eliberează CRH. Acest fapt duce la suspendarea pe termen scurt a răspunsului neuronilor responsivi la stimulii stresanți și la reducerea eliberării glucocorticoizilor adrenali la un stres adițional. Expunerea pe durată lungă (zile sau săptămâni) la glucocorticoizi inhibă transcripția genei pentru CRH și în particular pentru vasopresină. În contrast, adrenalectomia produce prin stimularea eliberării CRH o creștere dramatică a sintezei de CRH și vasopresină, astfel încât vasopresina apare și în neuronii CRH care în mod normal nu au vasopresină sau au puțină. După cum se știe, CRH și vasopresina pot acționa sinergic în eliberarea de ACTH. Prin urmare, stresul, durerea și anxietatea care măresc cantitatea de vasopresină, accentuează și eliberarea adrenocorticotropinei, iar stresul prelungit poate modifica expresia CRH, a vasopresinei și a oxitocinei. În plus, s-a mai constatat și faptul că stresul sever sau cronic, care duce la creșterea glucocorticoizilor, provoacă și leziuni ale neuronilor piramidali din hipocamp. Sloviter și colab., (1989) au demonstrat că atunci când glucocorticoizii circulanți sunt eliminați prin adrenalectomie pot provoca degenerarea altor neuroni, cum ar fi celulele hipocampale granulare. Variatele efecte ale glucocorticoizilor asupra hipocampului au fost explicate de către Mc Ewen (1989). Acesta a arătat că hipocampul are o mare concentrație de receptori glucocorticoizi și că alterările cronice ale nivelului acestora în sânge produc răspunsuri bifazice complexe, care au ca rezultat fie întărirea, fie depresia funcției hipocampice. Natura răspunsului este în funcție de durata expunerii, de vârstă și de alți factori neidentificați.

Lactația, nașterea și deshidratarea duc la apariția unor modificări structurale dramatice a neuronilor magnocelulari, a gliei din jurul acestor corpi celulari și a terminațiilor neuronale din pituitara posterioară. Modificările structurale de tipul

creșterii dimensiunilor celulare au rolul de a susține funcția sistemului în timpul solicitărilor maxime.

### **Funcția de reproducere are o integrare complexă.**

Regiunea tuberală a hipotalamusului pare esențială pentru menținerea unui nivel bazal de hormon gonadotrofic, în timp ce integritatea ariei preoptice este necesară pentru eliberarea ciclică a gonadotropinei, în faza care precede ovulația.

Stimularea electrică a ariei preoptice sau a grupului nuclear cortico-medial al complexului amigdaloid provoacă ovulația la iepuroaice și la pisici. Efectul stimulării preoptice este abolit de leziunile care separă această arie de hipotalamusul tuberal, iar efectul stimulării amigdalei este blocat de secționarea ariei terminale. Aceste observații sugerează existența unei legături funcționale între amigdală, aria medială preoptică, via stria terminalis și regiunea tuberală a hipotalamusului. Însă inputurile amigdaloidale către aria preoptică nu sunt esențiale în procesul ovulației, deoarece distrucția bilaterală a striei terminale nu împiedică ovulația (Brown-Grant și Rausman, 1972).

Ovulația la iepure este facilitată de stimularea hipotalamică mai mult decât de stimularea directă a infundibulului sau a hipofizei anterioare. Stimularea electrică a unei arii întinse de la aria preoptică medială până la corpii mamilari provoacă ovulația la șobolani.

O regiune mai sensibilă la stimularea electrică în estrul pisicii a fost găsită în partea tuberală postero-bazală a eminentei mediale în timp ce stimularea ariei preoptice mediale la șobolani femele induce în mod regulat ovulația. Stimularea corpiilor mamilari la veverițe masculi induce erecția penisului.

Nucleul este considerat a fi o parte a unui sistem implicat în reglarea funcției genitale. Regiunea medială a septumului preoptic și partea medială a nucleului talamic dorso-medial constituie puncte nodale pentru producerea erecției și a altor reacții genitale.

Tumorile și alte procese patologice care interesează hipotalamusul modifică frecvent dezvoltarea sexuală. Astfel de leziuni pot provoca uneori pubertate precoce sau hipogonadism asociat cu subdezvoltarea caracterelor sexuale secundare. Leziunile respective distrug adesea hipotalamusul posterior, lăsând intact hipotalamusul anterior.

Regiunea hipotalamică intactă funcționează în absența influenței inhibitorii a regiunii posterioare, ducând la o hiperfuncție hipofizară (Weinberger și Grant, 1941).

Hipogonadismul adeseori este asociat cu obezitatea, somnolența și diabetul insipid, grup de simptome care se instalează în leziuni ale regiunii tubero-infundibulare anterioare. Pubertatea precoce apare în leziuni hipotalamice caudale. În majoritatea cazurilor cu tulburări sexuale pituitare are aspect histologic normal.

La om, leziunile hipotalamice unilaterale produc rar simptome, deoarece proiecțiile hipotalamice nu sunt lateralizate ca tracturile senzitivo-senzorio-motorii.



Pentru modularea sau coordonarea comportamentului complex general este suficient să fie integră numai una din cele două jumătăți (dreaptă sau stângă). Lezarea unei jumătăți poate provoca doar o ușoară și tranzitorie pierdere funcțională (De Long, 1972).

Distrucția unilaterală a hipotalamusului ventro-medial poate provoca un ușor grad de obezitate la animale. Un efect selectiv al acestei distrucții ventro-mediale nu a fost încă demonstrat la om.

Pentru apariția simptomelor, hipotalamusul trebuie să fie lezat bilateral, dar aceasta nu înseamnă că leziunile trebuie să fie și simetrice. Când anumite căi sau arii funcționale sunt întrerupte la diferite niveluri din hipotalamus, atunci apar și simptomele corespunzătoare.

Vârsta are un rol important, deoarece la nou născuți mecanismele fiziologice hipotalamice imature reclamă o asistență din afară pentru a menține homeostazia pe care adultul și-o reglează singur. Datorită acestui fapt, efectele leziunilor hipotalamice la nou-ăscuți nu sunt pregnant individualizate.

Funcțiile neendocrine ale hipotalamusului se modifică o dată cu vârsta. Așa se explică de ce oamenii în vârstă, ca și animalele cu leziuni ventro-mediale ale hipotalamusului au tulburări de somn, cresc în greutate, au activitate motorie scăzută, au preferințe pentru anumite mâncăruri și prezintă sensibilitatea deosebită față de modificările termice ale mediului înconjurător. Aceste fapte reflectă o reducere a mecanismelor homeostatice hipotalamice (Consoli, 1979).

### **Reglarea sistemului nervos autonom și a funcțiilor vegetative**

Ronson (1939) și Hess (1954) au considerat hipotalamusul ca fiind „head ganglion of the autonomic nervous sistem”. Studiile experimentale ulterioare au arătat că noțiunea de „head ganglion” este exactă numai în măsura în care hipotalamusul funcționează ca un punct critic către care converg și unde sunt integrate cele mai multe influențe autonome telencefalice.

Totuși, experiențe de mai mare finețe au descoperit, contrar părerilor anterioare, că funcția autonomică nu este difuză, ci are o înaltă specificitate, datorită faptului că stimularea unor fibre izolate dă naștere unui răspuns la un organ periferic specific. (Korner, 1971).

Aceeași caracteristică o au și căile aferente prin care hipotalamusul primește inputuri senzoriale specifice de la receptori autonomici periferici (Hilton și Spyer, 1971, Thomas și Calaresu, 1973).

Deși hipotalamusul are capacitatea de a primi și de a da răspunsuri individuale, rolul său predominant este de a coordona funcțiile autonome (vegetative) între ele precum și legăturile acestora cu activitatea întregului organism.

Fără hipotalamus se poate obține numai o funcție autonomă de bază, pierzându-se coordonarea complexă a comportamentului vegetativ care asigură

homeostazia. Prin urmare, hipotalamusul este cel mai important centru subcortical de reglare a activității simpatice și parasimpatice.

Această funcție dublă este destinată menținerii unei stări interne, adecvate supraviețuirii organismului în condiții optime de activitate. Organizarea celor două subdiviziuni ale sistemului autonom este bine definită. Astfel, controlul activității parasimpatice se află în relație directă cu regiunea hipotalamică anterioară și medială. Stimularea acestora duce la creșterea răspunsurilor autonome sacrate și vagale caracterizate prin: bradicardie, vasodilatație periferică, creșterea acidității sucului gastric, a tonusului tractului digestiv și vezical și ocazional scăderea tensiunii arteriale și mioză.

Controlul centrilor nervoși simpatici este legat de hipotalamusul lateral și posterior. Stimularea acestei regiuni, în special a părții posterioare, din care iau naștere o mulțime de fibre eferente descendente, activează partea toraco-lombară a sistemului simpatic. Aceasta are ca rezultat intensificarea activității somatice și metabolice caracteristice stresului emoțional, atacului și fugii. Răspunsurile se exprimă prin dilatația pupilelor, piloerecție, tahicardie, ridicarea tensiunii arteriale, creșterea frecvenței și amplitudinii respiratorii, mișcări somatice de luptă, inhibiția peristaltismului și a tonusului muscular al vezicii și al intestinelor. Toate aceste corelate fiziologice caracteristice excitării emoționale pot fi evidențiate când hipotalamusul iese de sub controlul cortexului. Îndepărtarea cortexului sau a conexiunilor corticale cu hipotalamusul induce multe din simptomele viscerale amintite, specifice reacției de furie (shame rage). Pe de altă parte, distrugerea hipotalamusului posterior produce letargie emoțională, somn anormal și scăderea temperaturii datorită diminuării generale a activității somatice și a celei viscerale.

Prin stimularea cu ajutorul electrozilor implantați cronic, la pisici neanesteziate, Hess a găsit multiple reprezentanțe hipotalamice ale sistemului autonom. El a denumit răspunsurile simpatice ergotrope, iar pe cele parasimpatice trofotrope. Zona trofotropă este situată în partea anterioară a hipotalamusului, iar cea ergotropă în partea posterioară. Stimularea zonei ergotrope produce efectele cerute de organism în timpul unui efort muscular de apărare, atac sau fugă. Regiunea trofotropă induce reacții care diminuează capacitatea organismului de a produce efort fizic.

În privința reglării aparatului digestiv amintim că renumitul neurochirurg Cushing (1932) a obținut experimental tulburări trofice ale mucoasei esofagului, stomacului și duodenului, ulcere acute ale stomacului și perforarea acestuia după producerea unor leziuni hipotalamice. Prin excitarea cronică a hipotalamusului cu electrozi implantați, Long și colab. (1962) au provocat hemoragii și ulcere gastrointestinale. În general s-a constatat că hemoragiile și ulcerările se dezvoltă după 30 de zile de stimulare intermitentă, timp în care secreția de acid gastric crește considerabil. Ulcerul gastric apare după stimularea hipotalamusului anterior și a ariei preoptice, mai devreme decât după oricare alte stimulări.

Stimularea cronică a hipotalamusului anterior la pisici duce la creșterea peristaltismului și tonusului gastric. La șobolani, un rol important în reglarea



centrală a secreției de acid și pepsină revine nucleului ventromedial. Totodată creșterea semnificativă a secreției de acid gastric s-a înregistrat și la șobolanii cu leziuni hipotalamice care provoacă hiperfagie. Creșterea secreției de acid gastric a fost obținută la pisici și maimuțe prin stimularea hipotalamusului anterior și a celui posterior.

- Reglarea funcției de evacuare a fost studiată de Cushing (1932), care a arătat că excitarea hipotalamusului anterior provoacă o hipermotilitate a tractului gastrointestinal și o grăbire a evacuării.

Hess (1930) a indus efectul de micțiune și defecție, tot prin excitarea unor zone hipotalamice, iar Weill și Bernfeld (1954) au atras atenția asupra tulburărilor de evacuare care însoțesc uneori epilepsia de origine diencefalică.

- Reglarea sistemului cardiovascular se exercită prin intermediul centrului vasomotor ponto-bulbar. După cum am văzut, excitarea hipotalamusului postero-lateral produce tahicardie, vasoconstricție și hipertensiune arterială.

Stimularea hipotalamusului lateral, a fasciculului prozencefalic medial, a nucleului perifornical și a câmpului  $H_2$  al lui Forel produce, de asemenea, hipertensiune arterială (Kreindler, 1976).

Tulburările funcției simpatice și a celei parasimpatice determinate de leziuni ale hipotalamusului au constituit subiectul numeroaselor cercetări făcute nu numai de neurologi, ci și de cardiologi, gastroenterologi, precum și de cei care s-au ocupat de medicina psihosomatocă.

a) Tulburările funcției cardiovasculare au o frecvență destul de mare în patologia umană. Mulți cercetători au demonstrat că hipotalamusul primește inputuri directe de la baroreceptori (Gebber și Snyder, 1970; Hilton și Spyer, 1971) și chemoreceptori (Thomas și Calaresu, 1973) și că, în condiții normale, influențează reflexele cardiocirculatorii (Veale și colab., 1974).

În multe lucrări sunt descrise tulburările funcției cardiovasculare care însoțesc afecțiunile trunchiului cerebral și ale hipotalamusului la om. Aceste tulburări includ hipertensiunea, variate tipuri de aritmii cardiace, modificări EKG, din care unele pot simula un infarct miocardic acut (Shuster, 1960) la bolnavii fără antecedente cardiace.

Este bine cunoscut faptul că hemoragiile subarahnoidiene și alte boli acute ale trunchiului cerebral pot da necroză miocardică, probabil datorită eliberării de catecolamine care însoțesc aceste boli (Szacacs și colab. 1958).

Datorită marii incidențe a tulburărilor cardiovasculare, care însoțesc hemoragiile intraventriculare sau ruperea anevrismelor de comunicantă anterioară ce provoacă lezarea hipotalamusului anterior, mulți neurochirurghi au ajuns la concluzia că lezarea hipotalamusului duce implicit la tulburări cardiace.

b) Tulburările funcției respiratorii intră frecvent în structura sindroamelor hipotalamice. Hipotalamusul anterior primește aferențe stimulatorii directe de la chemoreceptori (Thomas și Calaresu, 1973) și conține neuroni care comandă ciclul și ritmul respirator (Kastella și colab., 1974).

Fishman și colab. (1965) și Moscovitz și colab. (1976) au prezentat câte un caz cu sindrom de hipoventilație alveolară și apnee periodică cu hipoventilație

apărute din cauza disfuncției hipotalamice. În ambele cazuri era vorba de copii bulemici și obezi, dar care nu prezentau semne anatomice, radiografice sau biochimice care să releve o leziune hipotalamică.

Edemul pulmonar și hemoragiile pot însoți traumatismele hipotalamice acute la animale (Gable și colab., 1953; Maire, 1956). Procese similare au loc și la oameni după traumatisme, infecții sau hemoragii. Totuși, s-a arătat că edemul pulmonar poate apărea și după comprimarea altor structuri ale SNC (creierul mare, trunchiul cerebral și măduva spinării cervicale). Legat de aceste observații se poate spune că și la unii pacienți cu compresii ale hipotalamusului anterior, hemoragii intraventriculare sau anevrisme de comunicantă anterioară rupte se dezvoltă edem pulmonar (Weissman, 1939; Ducker, 1968; Ciongoli și Poser, 1972), iar la alții cu leziuni cerebrale la distanță de hipotalamus pot apărea modificări pulmonare similare.

Richards (1963) analizând o serie de pacienți decedați din cauza diferitelor leziuni intracraniene, a constatat că o treime din cei care prezentau leziuni ale hipotalamusului anterior au avut edem pulmonar acut, dar la altă treime din pacienți cu edem pulmonar leziunile erau situate în afara hipotalamusului. Ca urmare, din punct de vedere neurogenic, patogenia edemului pulmonar a fost legată de mecanismul adrenergic cardiovascular.

Maire și Patton (1956) au presupus că distrucția centrului parasimpatic din regiunea anterioară preoptică a hipotalamusului eliberează un centru simpatic edemogenic din hipotalamusul posterior, care duce la creșterea tensiunii și la pomparea sângelui către patul vascular pulmonar.

Alți cercetători presupun că mecanismul critic reflectă fie o stimulare sinaptică directă (Reynolds, 1963), fie o pierdere abruptă directă a funcției parasimpatice urmată de bradicardie și insuficiență cardiacă congestivă (Staub, 1964). La om nu s-a putut demonstra, în caz de edem pulmonar acut neurogenic, creșterea presiunii sanguine sau a presiunii venoase centrale (Ducker, 1968; Ciongoli și Poser, 1972).

Park și Sutnick (1973) au demonstrat că alterarea activității suprafeței pulmonare, care însoțește leziunile parasimpatice, poate fi decisivă în apariția edemului pulmonar.

c) Alterarea funcției gastrointestinale consecutivă maladiilor cerebrale este unanim recunoscută. Rokitansky (1841) este primul cercetător care a relevat o perforație gastrică acută asociată cu leziuni ale bazei creierului. Experiențele de acum clasice în fiziologia animală au dovedit influența hipotalamusului asupra funcției gastrointestinale.

Astfel, stimularea regiunii anterioare preoptice a hipotalamusului, a părții mai posterioare și a regiunilor dorso-laterale duce la creșterea motilității și secreției stomacului, intestinului subțire și a colonului (Restad, 1973; Masserman și colab. 1938; Fenegan și colab., 1966).

Stimularea simpatică a hipotalamusului ventro-medial inhibă motilitatea intestinală. Aceste funcții gastrointestinale sunt în legătură cu corelațiile autonome



ale variatelor aspecte ale comportamentului alimentar. La om, complicațiile gastrointestinale majore produse de disfuncția SNC sunt hemoragiile și ulcerările.

Leziunile hipotalamice posterioare dau ulcerării, iar leziunile hipotalamusului anterior limitează efectele la producerea gastromaladiei hemoragice (Long și colab., 1962). Cushing (1932) a asociat prezența ulcerelor gastrice. Ulterior, autori ca Watson și colab. (1954), Dellgaart (1959), Stevens și colab. (1963) și Edmondson și colab. (1968) au observat, după intervenții chirurgicale pe creier, traumatisme craniocerebrale, encefalite, hemoragii cerebrale, infecții, tumori, etc., prezența hemoragiilor și a ulcerărilor gastrointestinale acute.

Cea mai frecventă și specifică tulburare pare a fi ulcerarea părții inferioare a esofagului (Stevens și colab. 1963), deoarece ulcerul gastric și cel duodenal, deși mai frecvente, pot fi neurogenice.

Totuși, și multe alte leziuni intracerebrale localizate diferit pot provoca aceste tulburări, fără ca hipotalamusul să fie direct lezat (Watson și colab., 1954, Dalgaard, 1959).

Adevăratele ulcere neurogenice apar după episoade acute ale SNC (infecții, traumatisme, intervenții chirurgicale, hemoragii sau necroze și tumori cerebrale) (Dalgaard, 1958). Ca explicație, s-a afirmat că hiperactivitatea simpatică depinde de nivelul sistemic de catecolamine, iar hiperactivitatea parasimpatică produce la acești pacienți niveluri ridicate de gastrin (Kitamura și Ito, 1976). Nimeni nu știe care din acestea sunt mai importante, dar s-au făcut simpatectomii și vagotomii pentru a preveni astfel de ulcerări (Edmondson și colab., 1968).

Din cele arătate se poate constata că tulburările funcției hipotalamusului autonom la om se prezintă în strictă asociere cu leziunile intracraniene acute. Leziunile cronice ale hipotalamusului nu produc tulburări autonome cronice sau susținute. Tulburările autonome hipotalamice rezultă din necoordonarea activității neuronilor simpatici și parasimpatici (Arseni, Golu și Dănilă, 1983).

d) Epilepsia diencefalică a fost descrisă pentru prima dată de către Penfield (1929) la un pacient care prezenta un chist epidermoid de ventricul III. Periodic, chistul bloca sistemul ventricular producând cefalee și una sau alta din cele două tipuri de crize. Primul tip apărea când cefaleea era puternică. Atunci pacientul acuza amețeală și avea tendința de a cădea.

În al doilea tip, fața și brațele se înroșeau, respirația încetinea, transpira, iar saliva îi curgea din gură. Pupilele se dilatau iar ochii deveneau exoftalmici. Treptat, roșeața dispărea iar pulsul devenea slab și încet. Pacientul sughița și tremura. În timpul episodului putea fi trezit dând răspunsuri scurte la întrebări.

În alte cazuri s-au descris crize de hiperactivitate vegetativă manifestate prin aceleași simptome sau numai prin înroșire, salivă, transpirație excesivă, ridicarea presiunii sanguine, încetinirea sau creșterea ritmului pulsului și creșterea temperaturii. Este plauzibil să considerăm aceste simptome ca pe o expresie a unei descărcări periodice a neuronilor hipotalamici care activează funcția simpatică și parasimpatică sau ambele.

Leziuni intrinseci cerebrale, adiacente hipotalamusului sau care distrug o parte din această structură, pot produce atacuri epileptice caracterizate prin alterarea

funcției cardiovasculare, respiratorii, gastrointestinale, a reglării termice și a sistemului glandular (Lennox, 1960, Shapiro și colab., 1969). La pacienții cu leziuni organice însoțite de astfel de atacuri paroxistice starea de conștiință este păstrată, iar ei prezintă răspunsuri comportamentale și afective adecvate modificării funcțiilor vegetative. Unii bolnavi manifestă astfel de simptome când ventriculul trei este dilatat din cauza unei hidrocefalii (fig. 70) sau când prezintă mici tumori talamice (fig. 71). În cazul când pacienții au manifestat paroxisme asociate cu tumori care invadeau sau distrugau hipotalamusul, toate studiile anatomice au dovedit crușarea cel puțin a unei zone din partea posterioară, care este elementul efector al structurii. Diagnosticul de epilepsie diencefalică este cel mai bine justificat la pacienții la care există o disfuncție hipotalamică precis identificată.

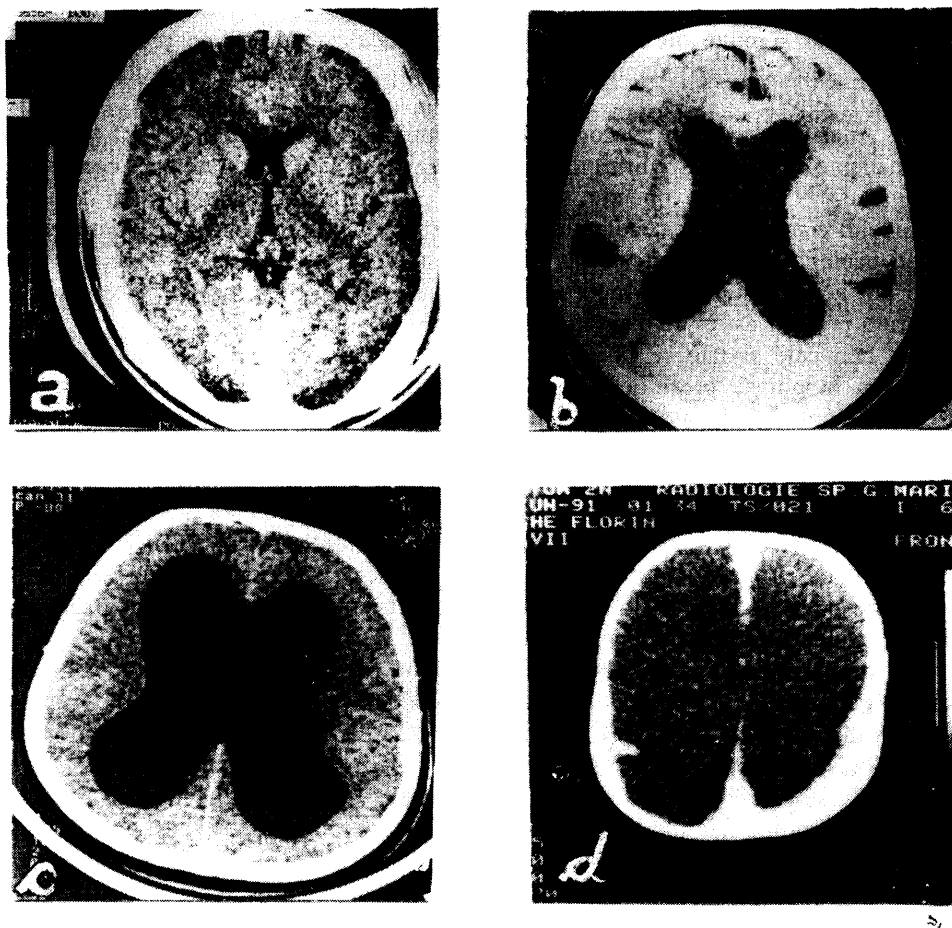
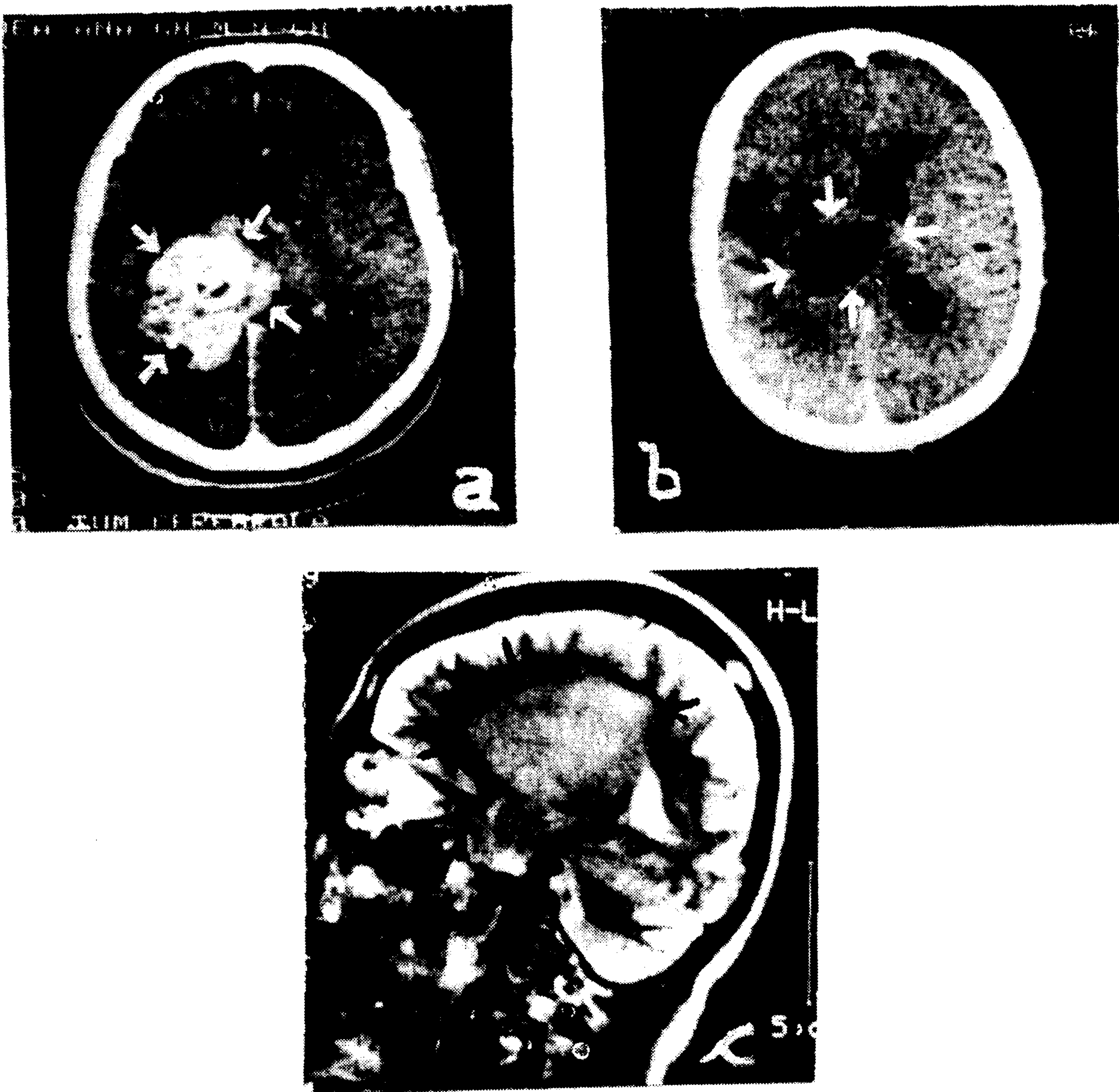


Fig. 70. Tomografia computerizată relevă la un pacient ventriculi normali (a) și la alți trei hidrocefalie. La unul (b) volumul substanței cerebrale este egal cu cel al ventriculilor iar la ceilalți doi volumul respectiv este mult mai mic (c) sau redus la câțiva milimetri (d).





**Fig. 71.** Tomografia axială computerizată cu substanță de contrast arată o tumoră talamică stângă extinsă în cornul occipital al ventriculului lateral și în substanța albă din jur (a); o tumoră talamică stângă chistică, care comprimă cornul occipital al ventriculului lateral stâng (b) și o tumoră talamică extinsă și asupra formațiunilor din jur (c).

### Hipotalamusul și motivația

Stările motivaționale reprezintă impulsuri sau stimulente determinate de anumite condiții interne, care împing animalele și omul la acțiune sau direcționează comportamentul voluntar în vederea satsfacerii unor necesități corporale. De exemplu, motivația de reglare a temperaturii scăzute pune în mișcare comportamente de control care influențează direct temperatura corpului, cum ar fi frecarea mâinilor, tremuratul, etc.

Stările motivaționale implică mecanisme și comportamente complexe, a căror intensitate și direcționalitate au drept scop reglarea temperaturii, satisfacerea foamei, setei și a cerințelor sexuale.

Stimulii observabili din mediul extern sunt insuficienți pentru anticiparea tuturor aspectelor acestor comportamente, iar activitățile complexe nu sunt corelate în mod conștient cu condițiile acestora. De exemplu, într-o anumită perioadă de timp pofta de mâncare poate constitui un stimul intens, pe când în altă perioadă de timp apetitul poate să nu producă nici un răspuns sau poate să producă repulsie.

Stările motivaționale de foame și sațietate explică absența corelației dintre stimulii alimentari și răspunsul comportamental față de aceștia în diferite perioade de timp. Aceste date arată că stările comportamentale motivaționale sunt determinate de oscilațiile homeostaziei interne. Procesele homeostatice de tipul reglării temperaturii, hranei și setei corespund celor mai importante stări motivaționale.

Uneori, stările motivaționale se manifestă în cadrul interacțiunii dintre stimulii externi și interni. În astfel de situații, problema motivației poate fi redusă la un complex de reflexe aflate sub controlul excitator și inhibitor al unor stimuli multipli, dintre care unii interni.

Acest abord se referă în special la reglarea temperaturii. În contrast cu acestea, stimulii interni pentru foame, sete și comportament sexual sunt mai dificil de identificat și manipulat.

Mecanismele homeostatice pot fi asemănate cu unele sisteme de control de tipul servomecanismelor care reglează mărimile. Acest control fiziologic de reglare a variabilelor homeostatice permite organizarea gândirii noastre și cu privire la unele sisteme mai înalte și mai complexe. În general, sistemele de control mențin o anumită variabilă la un nivel dat prin măsurarea acesteia cu ajutorul detectorilor feedback externi și prin compararea ei cu o valoare fixată. Atunci când variabila de control nu se suprapune exact pe valoarea fixată detectorii de erori generează semnale de eroare. În acest mod, elementele de control aduc sistemul controlat la valoarea fixată. Senzația de foame este dată de hipoglicemie, care acționează ca stimul intern.

Și stimulii externi (vederea sau mirosirea hranei) pot determina comportamente corespunzătoare.

Toate sistemele de control fiziologic au efecte duble, inhibitoare și excitatoare. Ele funcționează împreună și au rolul de a ajuta sistemele de control. Aceste principii pot fi ilustrate de sistemul de control utilizat pentru încălzirea unei camere. Sistemul de încălzire reprezintă elementul de control. Temperatura camerei este variabila care trebuie controlată. Termostatul camerei reprezintă detectorul de eroare. Punctul la care este fixat termostatul este punctul de reglare. În fine, outputul termostatlui care mișcă elementul de control la închis și deschis este semnalul de eroare (Kupfermann, 1991).



## Reglarea temperaturii corpului

Rolul hipotalamusului în reglarea termică a constituit obiectul de studiu al multor cercetători. Astfel, în anul 1880 Aronson și Sachs au descoperit influența hipotalamusului asupra termoreglării. Meyer (1913) a dezvoltat acest concept clasic în sensul că a considerat hipotalamusul anterior ca centru de risipire a căldurii, iar pe cel posterior ca centru de producere a ei.

În reglarea temperaturii sunt implicate răspunsurile scheletomotorii, autonome și endocrine. Prin numeroasele sale conexiuni anatomice, hipotalamusul poate îndeplini cu succes rolul de centru integrator al acestei funcții.

Detectorii feedback colectează informațiile cu privire la temperatura corpului de la două surse principale: de la receptorii periferici localizați în tot corpul (piele, viscere și măduva spinării) și de la receptorii centrali localizați în hipotalamus.

Receptorii hipotalamici sunt constituiți din neuroni a căror activitate este dependentă de temperatura locală indusă de temperatura sângelui.

Există numeroase date experimentale care arată că hipotalamusul anterior și posterior este implicat în reglarea temperaturii prin ample procese fizice și chimice mediate de două mecanisme importante: unul legat de înlăturarea căldurii și altul de producerea ei. Stimularea electrică a hipotalamusului anterior la animalele neanesteziate declanșează procese și modificări fiziologice de înlăturare a excesului de căldură prin dilatația vaselor sanguine ale pielii, prin transpirație și prin suprimarea frisonului apărut ca urmare a scăderii temperaturii corpului. Astfel, devine posibilă rapida eliminare a excesului de căldură prin convecție, radiație și evaporarea transpirației. La animalele cu blană, termoliza este suplimentată de rapide mișcări respiratorii.

Efectul termic este înlăturat prin încălzirea curentului de aer inspirat succesiv.

Leziunile care interesează partea anterioară a hipotalamusului anihilează centrul neural al mecanismelor legate de înlăturarea căldurii și provoacă o hipertermie cronică. La bolnavii noștri, o astfel de hipertermie a apărut postoperator după înlăturarea a două tumori hipofizare, a unui craniofaringiom, a două meningioame de tubercul selar și a unui hematom provenit din ruperea unui anevrism de comunicantă anterioară.

Hipertermiile tranzitorii se datorează edemului și micilor hemoragii care afectează această regiune hipotalamică. Febra hipotalamică sau centrală reprezintă caracteristici destul de imprecise manifestate printr-o curbă termică în platou sau neregulată, prin lipsa reacțiilor vasomotorii sau respiatorii și printr-o temperatură centrală mai ridicată decât cea periferică. În general, febra hipotalamică poate fi diagnosticată prin procedeul eliminării.

Stimularea electrică a hipotalamusului posterior dă răspunsuri opuse care duc la conservarea sau producerea căldurii. Astfel, în timp ce stimularea ariei

preoptice a hipotalamusului anterior produce o respirație accelerată, stimularea hipotalamusului posterior produce frison. Lezarea hipotalamusului posterior duce la apariția unor fenomene minore atunci când animalul este menținut la temperatura camerei de aproximativ 22°C.

Când animalul este expus la frig devine rapid hipotermic din cauza lipsei mecanismelor homeostatice care generează și conservă căldura. În cazul lezării bilaterale a hipotalamusului posterior, a celui dorsolateral și a corpiilor mamilar dispare capacitatea de adaptare a organismului la temperatura scăzută a mediului înconjurător. Expunerea la rece nu provoacă vasoconstricție periferică și nici frison.

Hipotalamusul controlează și răspunsurile endocrine la modificările de temperatură. Astfel, expunerea îndelungată la frig duce la eliberarea unei cantități crescute de tiroxină și la ridicarea temperaturii corpului prin creșterea metabolismului tisular. Semnalizarea erorilor de către sistemul de control al temperaturii declanșează răspunsuri scheletice involuntare, autonome și endocrine adecvate, dar, și activități voluntare direcționate în scopul minimalizării acestora. De exemplu, un șobolan poate fi determinat să apese o pedală pentru a primi într-un mediu foarte cald un jet de aer rece. Plasarea acestuia într-o cameră cu temperatură normală nu-l mai determină să apese pedala de aer rece. În cazul în care hipotalamusul anterior este încălzit cu apă caldă administrată printr-o sondă șobolanul va apăsa iarăși pedala de aer rece. Sumarea la același șobolan a inputului periferic cu a celui hipotalamic central poate fi demonstrată prin încălzirea mediului concomitent cu încălzirea sau răcirea hipotalamusului. În cazul în care ambele sunt încălzite (mediul înconjurător și hipotalamusul) șobolanul apasă mai repede pedala de aer rece. Apăsarea pedalei de aer rece într-un mediu înconjurător cald poate fi suprimată complet prin răcirea directă a hipotalamusului (Satinoff, 1964, Corbit, 1973).

Înregistrările neuronale de la nivelul ariei preoptice a hipotalamusului anterior efectuate de Hori și colab. (1988) și Boulant și Silva (1988) arată că hipotalamusul integrează informațiile relevante centrale și periferice de reglare a temperaturii corpului.

Neuronii sensibili la căldură din această regiune își accentuează activitatea atunci când țesutul hipotalamic este încălzit local. Alți neuroni sensibili la rece răspund la răcirea locală. Neuronii sensibili la cald, care răspund la încălzirea locală, sunt excitați de încălzirea pielii și a măduvei spinării și inhibați de răcirea aceluiași formațiuni.

Neuronii sensibili la rece dau răspunsuri contrare. Astfel, acești neuroni integrează atât informația termică centrală, cât și pe cea periferică. Mai mult, numeroși neuroni sensibili la temperatură răspund și la stimuli netermici de tip osmotic, glucidic, de presiune sanguină, precum și la steroizii sexuali. Cu toate că aceste mecanisme mențin temperatura organismului între anumite limite strânse, această constantă poate fi modificată de stările patologice care induc febra prin



acțiunea pirogenilor. Pirogenii sistemici de tipul macrofagelor, care produc interleukina-1, intră în creier la nivelul regiunii în care bariera hematoencefalică este incompletă și acționează pe aria optică. Această acțiune duce la creșterea temperaturii peste limitele normale. Există și unele substanțe chimice care reglează temperatura. Adrenalina, noradrenalina și dopamina injectate în aria hipotalamică anterioară scad temperatura corpului, în timp ce serotonina o crește.

Kasting (1989) a constatat că la nivelul creierului există și o arie antipiretică activată de febră. Aceasta are rolul de a limita magnitudinea răspunsului febril. În aria antipiretică a fost inclus nucleul septal localizat anterior față de aria preoptică în apropierea comisurii anterioare. Aria antipiretică este activată de vasopresină.

Injectarea vasopresinei în aria septală contracarează febra asemănător drogurilor antipiretice. Acest fapt sugerează că unele efecte ale acestor droguri acționează la nivel central prin eliberarea vasopresinei.

Acțiunea antipiretică a substanțelor antiinflamatoare nesteroidice, de tipul indometacinului, este blocată prin injectarea în nucleul septal a antagonistului vasopresinei.

În fine, convulsiile determinate de febră pot fi produse în parte de vasopresina eliberată în creier ca răspuns la antipiretice.

Controlul temperaturii corpului constituie un exemplu clar de funcție hipotalamică integrativă aflată sub control autonom, endocrin și motivațional. Aceasta ilustrează și modul în care hipotalamusul operează direct asupra mediului intern prin intermediul semnalelor de control transmise formațiunilor superioare ale sistemului nervos.

Din datele de mai sus reiese că hipotalamusul anterior dirijează mecanismele de înlăturare a căldurii corpului, în timp ce hipotalamusul posterior reglează procesele de producere a căldurii atunci când este necesar. Nici una din aceste căi nu este bine delimitată și nici nu coincide cu anumiți nuclei. Căile care intervin în mecanismul de termoreglare pentru frig pleacă din hipotalamusul posterior și descind împreună cu căile hipotalamice anterioare până în mezencefal.

Legat de temperatură, teamă și furie trebuie menționat și faptul că după stimularea a numeroase arii hipotalamice apare și piloerecția. La acest nivel activitatea pilomotorie este integrată împreună cu alte funcții autonome.

Legat de diferite afecțiuni hipotalamice apare sindromul termic în care cuprindem: poikiloterma, hipotermia și hipertermia (cronice și paroxistice).

**Poikiloterma** se manifestă prin incapacitatea hipotalamusului de a menține temperatura centrală constantă și independentă de temperatura ambiantă. Poikiloterma apare atunci când fluctuația temperaturii corpului, legată de schimbarea temperaturii ambiante, este mai mare de 2°C.

La om, această dereglare termică este cea mai comună și rezultă din lezarea sau disfuncția centrilor integratori și efectori ai termoreglării din hipotalamusul

posterior și mezencefalul rostral, când disconfortul termic, coordonarea funcției autonome și reglarea comportamentului dispar. Ca rezultat, unii pacienți cu poikilotermie nu sunt surprinși de condiția lor și nu arată nici un semn de disconfort sau activitate reglatorie la stresul termic.

Leziunile întinse ale hipotalamusului posterior dau o severă poikilotermie asociată cu un declin marcat al temperaturii corpului într-un mediu cu o temperatură de 20-25° C. Uneori, aproape întregul hipotalamus este distrus la pacienții cu un astfel de sindrom (Devison și colab., 1946; Killeffer și Stern, 1970, Sunderman și Haymaker, 1974). Hipotermia care însoțește distrucția hipotalamusului posterior și partea rostrală a mezencefalului din boala Wernicke este mai mult o poikilotermie.

Datele clinice arată că leziunile care produc poikilotermia trebuie să fie bilaterale.

Nou născuții, în special cei prematuri, și bătrânii prezintă o poikilotermie moderată, care se accentuează în cazul în care apare o hemoragie intraventriculară ce lezează hipotalamusul. La bătrâni, temperatura corpului tinde să scadă anormal într-un mediu ambiant rece. S-a constatat că bătrânii care supraviețuiesc episoadelor hipotermice au un mecanism generator de căldură inadecvat și adesea lipsit de disconfort termic.

**Hipotermia susținută** apare fie prin distrugerea mecanismelor de producere a căldurii, fie prin stabilirea unui centru anormal inferior.

Detectarea hipotermiei provocată de lezarea mecanismelor termogene impune ca temperatura mediului extern să fie mai scăzută decât temperatura normală a corpului. În aceste condiții un centru anormal inferior stabilește o temperatură mai scăzută a corpului și menține o nouă constantă independentă de fluctuațiile înconjurătoare.

Hipotermia susținută este rară și poate apărea în cazul leziunilor hipotalamusului anterior atât la om, cât și la animale.

Fox și colab.(1970) au descris cazul unui tânăr la care apăreau diferite grade de hipotermie când era ținut într-un mediu cu temperatura scăzută, dar când temperatura corpului ajungea la 37° C, se activau intens procesele de eliminare a căldurii. Totuși, pacientul era lipsit de procesul de termogeneză prin frisonare. La autopsie s-a descoperit o glioză extinsă a regiunii hipotalamice anterioare preoptice, de cauză necunoscută.

Hipotermia dată de tulburarea cronică a unui centru inferior a fost bine argumentată la om de către Kockaday și colab. (1962). Ambii pacienți studiați de autori au avut leziuni ale sistemului nervos central. Unul dintre ei avea infarct, care cuprindea hipotalamusul și alte regiuni.

**Hipotermia paroxistică** constă din episoade de scădere a temperaturii corpului, care variază ca frecvență zilnică. Episodul hipotermic debutează brusc, fără nici o cauză internă sau externă prin transpirație, înroșirea pielii, scăderea temperaturii corpului până la 32°C și durează minute sau zile. Acest declin al



temperaturii se asociază cu oboseala, diminuarea activității cerebrale, hipoventilația, hipotensiunea, aritmia cardiacă, ataxia, lăcrimarea și cedează încet sau rapid cu frison și vasoconstricție periferică (Plum și Van Uiter, 1978). În timpul hipotermiei, ambele mecanisme - de producere a căldurii și de risipire a ei - răspund normal, în concordanță cu stresul termic, dar în jurul temperaturii joase stabilite de centrul inferior. Unii pacienți au o temperatură scăzută între aceste episoade. În literatura de specialitate au fost descrise mai amănunțit 13 cazuri cu episoade hipotermice paroxistice. În două din cazurile amintite, studiul postmortem a evidențiat la unul un colesteatom de ventricul III, care comprima hipotalamusul (Penfield, 1929) și la celălalt o glioză cu distrugerii celulare în regiunea premamilară a nucleului arcuat al hipotalamusului (Noel și colab. 1973). În celelalte cazuri simptomele de leziune hipotalamică au fost evidente (diabet insipid și agenezie a corpului calos în alte 5 cazuri). Deși multe aspecte ale hipotermiei paroxistice sugerează procesul unei descărcări epileptice, care interesează termostatul central, cei mai mulți din pacienți nu au răspuns la anticonvulsivante.

Hipotermiile în care termogeneza este inferioară termolizei au etiologii și mecanisme variate. Hipotermiile pot fi ușoare (între 35° și 32°C), medii (între 32° și 24°C) și grave (sub 24°C). Hipotermiile medii sunt însoțite de bradicardie, bradipnee, hipotensiune, obnubilare și deprimare a metabolismului. Bolnavii cu hipotermii severe sunt comatoși și decedază prin fibrilație ventriculară.

Hipotermiile care apar ca urmare a depășirii capacității funcționale a mecanismelor de termoreglare sunt întâlnite la nou-născuți și la bătrâni.

Hipotermiile accidentale sau apărute ca urmare a unor condiții care dereglează termogeneza și termoliza sunt întâlnite la bolnavii cu arsuri întinse de gradul I și II datorită vasodilatației intense de la periferia zonei lezate, precum și la bolnavii cu arsuri de gradul III datorită pierderilor prin evaporare până la 6 litri de lichide pe zi, concomitent cu aproximativ 3500 calorii.

**Hipertermia susținută** de origine hipotalamică include perturbarea mecanismelor de risipire a căldurii și stimularea mecanismelor de producere a ei. Toate datele arată că hipertermia continuă apare datorită unei leziuni neuronale instalată ca urmare a unui proces patologic acut. Cele mai multe cazuri apar după traumatisme sau sângerări în regiunea hipotalamică anterioară sau a ventriculului trei (Cushing, 1932, Erickson, 1939, Myasaki și colab. 1972).

Se cunosc puține cazuri de hipertermie susținută după leziuni ale regiunii tubercule a hipotalamusului, dar cu păstrarea hipotalamusului posterior. În hipertermii continui, temperatura corpului urcă până la niveluri fatale, dar mai mult ca rezultat al unei produceri active de căldură. După cum a fost notat (Cushing, 1932), modificările cardiovasculare care în mod normal însoțesc febra sunt disproporționate de mici în cazul hipertermiei date de leziunea hipotalamică.

Hipertermia hipotalamică nu persistă mai mult de două săptămâni după un proces acut. Davison (1940) și Zimmerman (1940) descriu cazuri de tumori

cerebrale însoțite de multiple episoade hipertermice, ca urmare a decompensărilor repetate, nefaste ale tumorii provocate de hemoragii sau necroze.

Lipsett și colab. (1962) au relevat prezența febrei în encefalitele hipotalamice. În astfel de cazuri, infecția persistentă a dus la lezarea hipotalamusului.

**Hipotermia paroxistică** are un caracter episodic și se manifestă prin frisoane cu înalte croșete febrile și alte fenomene vegetative.

Tulburarea este paroxistică, neritmică și se termină repede cu transpirații profuze și înroșirea pielii sau mai lent, peste câteva ore de la debut. Diagnosticul de hipertermie neurogenă trebuie stabilit prin excludere și diferențiat de multe alte crize termice neneurogene.

Studierea metabolismului și a funcției reglatorii la pacienții cu hipertermie paroxistică nu a demonstrat nici o anormalitate consistentă.

În asemenea cazuri a fost incriminat hipotalamusul, deoarece hipertermia paroxistică se asociază cu alte simptome care sugerează existența unei leziuni hipotalamice. Câteva cazuri au fost examinate anatomopatologic. La autopsie (Anderson și colab., 1950; Reeves și Plum, 1969) s-au constatat leziuni care interesau regiunea tuberală posterioară cu extinderea anterioară de-a lungul planșeului ventriculului III.

Lennox (1960) a prezentat cazul unei fete la care faza paroxistică era precedată de atacuri evidente de hipotermie care ulterior se schimbau în hipertermie și ce putea fi controlată cu fenitoin.

### **Reglarea foamei și a aportului de hrană**

Aportul de hrană se află sub controlul a doi centri hipotalamici.

În anul 1942, Hetherington și Ranson au demonstrat că distrugerea nucleului hipotalamic ventromedial și a țesutului înconjurător produce hiperfagie și obezitate severă. În contrast, Anand și Brobeck (1951) au constatat că lezarea bilaterală a hipotalamusului lateral produce efecte opuse manifestate prin afagie și moarte, deși animalele erau hidratate și hrănite forțat.

Anderson (1957) a arătat că ingestia intensă de alimente poate fi provocată prin răcirea ariei preoptice mediale. Răcirea cronică produce numai o mică modificare în aportul de hrană. Creșterea aportului alimentar a fost observată și în cazul răcirii hipotalamusului rostral sau a ariei ventromediale. Stimularea electrică hipotalamică laterală dă foame, în timp ce stimularea medială suprimă foamea. Aceste observații au dus la concluzia conform căreia hipotalamusul lateral are un centru al foamei, iar hipotalamusul medial are un centru al sațietății. Această concluzie atractivă este greșită pentru că, în ansamblu, creierul nu este organizat pe centri care să controleze funcții specifice, izolate.

Funcțiile individuale sunt dependente de circuite neurale distribuite printre numeroase structuri ale sistemului nervos central. Din această cauză au existat autori care au presupus existența unei căi implicate în reglarea aportului de hrană,



cale ce pornește din regiunea termoreglatoare hipotalamică anterioară, trece caudal prin regiunea ventromedială și ajunge la hipotalamusul lateral. Această cale ar fi esențială în producerea binecunoscutului efect al temperaturii mediului înconjurător și al corpului asupra consumului de apă și hrană. Cu toate acestea, datele obținute prin lezarea hipotalamusului lateral și medial se datorează mai multor factori: alterării informațiilor senzoriale și motorii, modificării punctului de referință, degradării balanței hormonale și afectării fibrelor de pasaj și a celor legate de comportamentul de trezire (Kupfermann, 1991).

- Deficitele senzoriale și motorii care apar în cazul lezării hipotalamusului lateral se datorează afectării fibrelor sistemului trigeminal, care duce la afagie. Și secționarea trigemenului periferic provoacă tulburări evidente în comportamentul de hrănire. Tot în leziunile hipotalamice laterale, răspunsul la stimulii vizuali, olfactivi și somatici prezentați controlateral leziunii este mult redus. Și răspunsul de hrănire față de mâncarea prezentată controlateral este diminuat.

Lezarea regiunii nucleului ventromedial duce la apariția hiperfagiei și la alterarea netă a răspunsului senzorial.

În cazul unei diete normale, animalele lezate consumă mai multă mâncare decât animalele fără astfel de leziuni. Totuși, când alimentele sunt contraformate cu substanțe amare, ele consumă mai puțin decât animalele normale. Alterarea răspunsului senzorial la mâncare, al animalelor cu leziuni hipotalamice ventromediale duce, cel puțin în parte, la apariția obezității.

- Alterarea punctului de referință pentru reglarea greutateii corporale a fost demonstrată în numeroase experiențe hipotalamice. În unele din acestea, înainte de efectuarea unei leziuni hipotalamice laterale, animalele au fost înfometate în scopul reducerii greutateii lor corporale. Când animalele au început să fie realimentate cu cantități mici de hrană, acestea au crescut în greutate, în timp ce animalele de control, neînfometate, au slăbit. Preînfometarea a adus greutatea animalelor sub punctul de referință determinat de leziunea laterală.

Invers, animalele cu leziuni hipotalamice ventromediale nu s-au supraalimentat așa cum se întâmplă în mod obișnuit, deoarece greutatea lor dinaintea lezării a fost crescută printr-o alimentație forțată.

Șobolanii forțați să crească sau să scadă în greutate au devenit hiper sau hipometabolici.

- Alterarea balanței hormonale de către leziunile hipotalamice întinse duce în mod invariabil la modificarea comportamentului de hrănire prin afectarea hormonilor steroizi sexuali, a glucagonului, a insulinei și a hormonului de creștere. Astfel, lezarea hipotalamusului medial favorizează eliberarea unei cantități mai mari de insulină în timpul alimentării animalelor. Acest răspuns poate explica, cel puțin parțial, hiperfagia și creșterea în greutate a animalelor cu leziuni hipotalamice mediale. Hiperinsulinemia atrage răspunsul de hrănire, precum și conversia substanțelor nutritive în grăsime.

- Afectarea fibrelor de pasaj este inevitabilă în cazul leziunilor hipotalamice. Lezarea hipotalamusului lateral afectează fibrele cu conținut dopaminergic care

leagă substanța neagră de striat. Aceste leziuni disrup și fibrele dopaminergice care emană din aria trigeminală ventrală (proiecțiile mezolimbice) și inervează excesiv cortexul prefrontal și nucleul accumbens, formațiuni strâns legate de sistemul limbic.

În plus, secționarea fibrelor dopaminergice parahipotalamice duce la apariția unei stări de hipotrezire și afagie similară celei din leziunile hipotalamice laterale, dar ceva mai puțin intensă. S-a afirmat că efectele lezării hipotalamusului lateral s-ar datora întreruperii fibrelor de pasaj și că hipotalamusul nu ar avea nici un rol în comportamentul alimentar. Această problemă a putut fi clarificată prin utilizarea leziunilor hipotalamice chimice. Tehnica constă în injectarea hipotalamusului lateral cu acid kainic sau ibotenic, analogi glutamatului, care distrug numai corpul celulelor neurale lăsând intacte fibrele de pasaj.

După astfel de leziuni, a apărut afagia și alte aspecte ale sindromului hipotalamic lateral. Mai mult, Roolls și colab. (1979) și Rolls (1981) au constatat că hipotalamusul conține mulți neuroni, care răspund la vederea sau gustarea alimentelor și că aceste celule reacționează numai atunci când animalul este flămând.

Leibowitz și Stanley (1986) și alți cercetători au demonstrat că stimularea chimică a hipotalamusului cu diverși transmițători produce alterări specifice ale comportamentului alimentar. De exemplu, aplicarea norepinefrinei pe nucleul paraventricular duce la stimularea intensă a comportamentului alimentar și la alegerea dintre alimente cu hidrați de carbon, proteine și grăsimi a celor cu conținut mai mare de carbohidrați.

Aplicarea selectivă pe același nucleu a peptidei galanin duce la ingestia unei cantități mai mari de grăsime, în timp ce substanțele opiacee accentuează consumul de proteine.

Numeroase date clinice și experimentale atestă faptul că și alte niveluri neurale sunt implicate în activitatea de hrănire. Astfel, hiperfagia se instalează și în urma lezării lobilor frontali, a rinencefalului și a mezencefalului, care interesează substanța cenușie periaeductală sau ariile tegmentale laterală și ventrală. Așa se explică faptul că după extirparea structurilor rostrale și hipotalmice rămâne un oarecare grad de reglare homeostatică a alimentației. În asemenea situații, șobolanul flămând mănâncă numai atunci când hrana este pusă în gură și o respinge când este sătul.

Setul de semnale care reglează alimentația poate fi împărțit în două: semnale care reglează alimentația pe termen scurt și semnale care reglează greutatea corporală pe termen lung.

Semnalele pe termen scurt se referă la proprietățile chimice ale mâncării. Acestea acționează la nivelul cavității bucale în scopul stimulării comportamentului alimentar, dar și la nivelul sistemului gastrointestinal și hepatic în scopul inhibării lui. Impulsurile aferente din tractul gastrointestinal activează centrul de sațietate imediat după ingestie. Semnalele de sațietate pe termen scurt ajung în regiunea hipotalamică laterală prin intermediul căilor aferente viscerale.

Semnalele pe termen scurt sunt modulate de semnalele pe termen lung, adică de greutatea corporală (cantitatea de grăsime stocată).



Datorită lor greutatea corporală poate fi menținută în limite relativ constante prin dietă, activitate și prin mecanismele de autoreglare feedback, care ajustează rata metabolică atunci când organismul se îndepărtează de la punctul său de referință. Dacă un animal primește o dietă hipocalorică, rata metabolismului său scade. În astfel de situații, el are nevoie de mai puțină mâncare pentru menținerea greutății sale corporale. Dacă organismul este supus în mod repetat pierderii în greutate, rata metabolismului scade pe termen lung, dar când greutatea revine la normal, aceasta poate fi menținută cu mult mai puține calorii decât în mod obișnuit.

În reglarea activității de hrănire sunt implicate și alte semnale humorale. În acest sens, trebuie menționat faptul că hipotalamusul are glucoreceptori care răspund la nivelul glucozei sanguine. Reglarea glicemică a centrilor hipotalamici ai foamei și ai sațietății se bazează pe faptul că hipoglicemia excită centrul foamei, iar hiperglicemia îl inhibă. La câine, activitatea spontană a neuronilor din centrul sațietății se modifică după injectarea intravenoasă a glucozei și a insulinei.

Și hormonii intestinali eliberați în timpul mesei contribuie la apariția fenomenului de sațietate. Cel mai bun exemplu îl constituie colecistochinina. Această peptidă este eliberată de duoden și de porțiunea superioară a intestinului atunci când acizii grași și aminoacizii sunt prezenți în tubul digestiv. Injectarea sistematică a colecistokininei duce la inhibarea comportamentului alimentar pe calea receptorilor periferici, Colecistokinina poate fi eliberată și de neuronii cerebrali, iar injectarea unei cantități mici din această peptidă sau a altor peptide (neurotensină, calcitonină, glucagon) în cavitatea ventriculară sau în nucleul paraventricular inhibă, de asemenea, activitatea alimentară.

Totuși, colecistokinina cerebrală inhibă alimentația independent de colecistokinina intestinală. Prin urmare, colecistokinina este un exemplu de hormon sau neuromodulator cu acțiune independentă, centrală și periferică.

Un alt factor care reglează aportul de hrană este temperatura.

Prin intermediul centrului hipotalamic termoreglator temperatura corporală scăzută activează centrul foamei și îl deprimă pe cel al sațietății. Creșterea temperaturii corpului are un efect opus.

## **Hipotalamusul și obezitatea**

Comportamentul la foame este legat în mare parte de menținerea greutății corporale la o valoare relativ fixă. Mamiferele dispun de un remarcabil control asupra aportului caloric, așa încât variațiile mai mari de un kilogram, în special la om, sunt resimțite. Totuși, excesele sau deficitul caloric zilnic pot duce la modificarea acestor constante pentru o lungă perioadă de timp. În astfel de situații, corpul emite semnale de tip feedback care controlează aportul alimentar și metabolismul. Animalele private forțat de hrană sau de alimente își ajustează ulterior aportul alimentar în plus sau în minus până când revin la greutatea corporală corespunzătoare vârstei. În acest mod, animalele își apără greutatea

corporală de perturbații. Reglarea greutateii corporale diferă de reglarea temperaturii corpului prin faptul că temperatura corpului este aceeași la fiecare individ, iar greutatea corporală diferă de la individ la individ. Mai mult, greutatea unui individ variază în funcție de stres, de savurarea mâncării, de exercițiu și de mulți alți factori genetici și de mediu înconjurător. Prin urmare, greutatea corporală poate fi modificată de numeroși factori.

În ajustarea comportamentului alimentar intervin unele sisteme de control cu mecanisme fixe, care funcționează ca puncte de referință, precum și un sistem feedback negativ de reglare a depunerii de grăsime.

Aparent, cu cât se înmagazinează în celule mai multă grăsime, cu atât aceasta este mai puțin convertită pentru nutriție. Din cauza acestui mecanism feedback, depozitarea grăsimii tinde să se stabilizeze în prezența diferitelor inputuri nutriționale. În cazul creșterii inputului nutrițional, sistemul găsește un nou punct de echilibru situat deasupra ultimei valori. În astfel de situații, rolul important în reglarea greutateii corporale revine feedbackului fiziologic. Astfel, pentru menținerea greutateii, animalele subponderale au nevoie de mai puține calorii, în timp ce animalele supraponderale au nevoie de mai multe calorii.

La maimuță, leziunile superficiale produse la baza hipotalamusului anterior sau la nivelul talamusului ventro-caudal duc la obezitate.

Distribuția bilaterală a nucleilor hipotalamici ventro-mediali induce obezitatea la șobolani și obezitate, hiperfagie și comportament sălbatic la pisică (Ingram, 1952; Stevenson, 1969). Leziunile hipotalamice laterale dau afagie și emaciare. Prin urmare, în hipotalamus se constituie mecanisme reciproc antagoniste în legătură cu alimentația.

Hipotalamusul medial se include ca verigă necesară a mecanismului senzației normale de sațietate. Aportul de hrană acționează pe calea hipotalamusului ventro-medial nu numai pentru a inhiba foamea, ci și pentru a stimula hipotalamusul lateral. Când este intact hipotalamusul medial inhibă atât foamea, cât și autostimularea hipotalamusului lateral.

Autostimularea hipotalamusului lateral la șobolani este inhibată de hipotalamusul ventro-medial sau de excesul de hrană. Distrucția sau anestezia nucleilor ventro-mediali duc la accelerarea autostimulării și a ingestiei.

Hipotalamusul are rol nu numai în reglarea cantitativă a ingestiei alimentare, ci și în reglarea calitativă a acesteia. În acest sens Kennedy (1952) și Soulairac (1963) au descris după leziuni hipotalamice, tulburări discriminatorii ale apetitului și ingestiei alimentare.

Erorile hipotalamice primare, oricât de mici ar fi, ele duc la obezitate sau emaciare. La om au o mare importanță în comportamentul alimentar influențele telencefalice și în special limbice. Potrivit unei ipoteze ce urmează a fi confirmată, hipotalamusul și conexiunile sale cu ariile limbice conțin receptori care controlează alimentația.

Unii cercetători susțin că un receptor central pentru înmagazinarea lipidelor, activat de prostaglandinele din țesutul adipos, controlează pe termen lung



Bray și Gallagher (1975) afirmă că pacienții cu obezitate hipotalamică diferă metabolic de cei cu obezitate esențială sau de normali, prin faptul că ei



consumă mai mult decât cheltuiesc în fiecare zi în perioada de creștere în greutate, iar lipsa de activitate o accentuează.

Unii autori, Reeves și Plum (1969) și Bray și Gallagher (1975), au relevat tendința centripetă de acumulare a grăsimii în obezitatea hipotalamică.

Sindromul Klein – Levin Acest sindrom, care apare în special la adolescenți și mai frecvent la băieți, se caracterizează prin episoade repetate de hipersomnie, hiperfagie, hiperactivitatea și tulburări comportamentale. Episoadele se realizează fără sechele. Simptomele sugerează o boală paroxistică hipotalamică sau a sistemului limbic, dar nici unul din cazuri nu a fost examinat autopsic.

**Sindromul Laurence-Moon-Bardet-Biedl.** Simptomele acestui sindrom sunt: obezitate, hipogenitalism sau hipogonadism, deficiență mintală, deformări craniene și malformații congenitale (printre care polidactilie și retinită pigmentară). Boala este ereditară și transmisibilă. Multe din simptome aparțin hipotalamusului, deși macro- și microscopic nu s-au găsit leziuni hipotalamice sau pituitare.

**Sindromul Alström-Hallgren.** Asemănător cu precedentul, sindromul Alström-Hallgren se manifestă prin obezitate, displazie retiniană, surditate, diabet zaharat, (simptome care apar la adult) și hipogenitalism. Puținele cazuri autopsiate nu au relevat leziuni hipotalamice.

**Sindromul Prader-Labhart-Willi.** Întâlnit de regulă la adulți, acest sindrom se caracterizează prin obezitate, hipogenitalism, statură mică și tendința la diabet zaharat, nefiind probabil ereditar. Copiii afectați au acromicrie (dezvoltarea insuficientă a extremităților și a craniului în contrast cu dezvoltarea normală a viscerelor) și tind să fie afagici, anorexici, hipotoni, somnolenți și cu tulburări de reglare a temperaturii. Între 6 luni și 2 ani, anorexia se transformă în hiperfagie și obezitate. Nu s-au găsit leziuni hipotalamice, deși pacienții prezentau variații diurne anormale ale nivelului sanguin de 11-hidroxicorticosteroid (Evans, 1964). Hipernatremia și tulburările mecanismului setei au fost descrise de Anand și colab. (1962).

### Hipotalamusul, anorexia și emacierea

Anorexia, deși este considerată o dereglare psihologică, poate apărea și în tulburări ale funcției hipotalamice. Ea este însoțită de scădere în greutate, de amenoree de cauză endocrină (Bell și colab. 1965) și de alte tulburări neendocrine, cum ar fi poikilotermie.

În majoritatea cazurilor, la autopsie s-a stabilit că encefalul este normal, exceptând pe acelea la care s-au găsit tumori hipotalamice.

Emacierea apare atât la adult cât și la copil. Prima descrierea a emacieri, asociată cu mișcări oculare nistagmoide și comportament afectiv inadecvat, a fost făcută de Russel (1951) și Ded (1957). Afecțiunea apărută în urma tumorii, care invada hipotalamusul anterior sau un gliom optic a fost descrisă la copii între 12 și 18 luni. Ea se manifestă prin apatie sau iritabilitate, dar cei mai mulți copii sunt



deosebit de alerți, hiperactivi, în ciuda stării de slăbire severă. Investigațiile endocrine au relevat valori normale, cu excepția unei ridicări ocazionale a nivelului hormonului de creștere. Deși inițial tumora lezează doar hipotalamusul anterior, în final întreg hipotalamusul este distrus.

În multe cazuri moartea survine ca urmare a complicațiilor care apar în starea de emaciare. În puținele cazuri de supraviețuire înregistrate peste vârsta de 2 ani, surprinzător, apetitul a revenit, emaciarea a cedat, astfel încât copiii au devenit obezi hipotalamici. În același timp, iritabilitatea și chiar furia au tins să ia locul euforiei și hiperactivității inițiale. Hiperactivitatea și voma date de procesul expansiv intracranian se adaugă anorexiei, deficitului de aport caloric și de metabolism accentuând starea de emaciare.

În ceea ce privește adulții, se cunosc puține cazuri de emaciare de cauză hipotalamică la care anorexia și hipofagia au constituit simptomele de bază. La autopsia acestora s-a constatat că hipotalamusul era complet distrus (Globus și colab. 1945, Daly și Nabarro, 1973), cu excepția unui singur caz descris de White și Hain (1959), care a prezentat o leziune chistică izolată la nivelul hipotalamusului lateral drept controlateral. Cazul prezentat de Hart (1971) avea o hipertrofie a nucleului hipotalamusului subventricular. Kamalian și colab. (1975) au descoperit la autopsia unui astfel de bolnav scleroze multiple ale hipotalamusului lateral, dar care crușau hipotalamusul ventro-medial. Localizarea leziunii la nivelul hipotalamusului lateral la acești 2 pacienți vine în acord cu experiențele pe animale în care s-a provocat anorexia.

### **Reglarea setei și a ingestiei de lichide**

Experimental s-a demonstrat că reglarea aportului de apă se află sub dependența unei anumite regiuni hipotalamice. Acestea reglează balanța hidrică fie prin acțiuni fiziologice directe, fie prin acțiuni comportamentale specifice.

Weill și Bernfeld (1954) afirmă că ingestia de lichide depinde de două mecanisme: unul secundar, legat de deshidratare și policitemie și altul primitiv asemănător unui instinct. Astfel, s-a constatat că stimularea electrică a regiunii anterioare a hipotalamusului la capre determină o sete fantastică, ce duce la consumarea unei mari cantități de apă.

Aria medială preoptică pare să fie și ea implicată în reglarea aportului de apă, deoarece aceasta poate fi stimulată de aria hipotalamică laterală și inhibată de aria hipotalamică medială.

Anderson (1957) a provocat ingestia de apă la capră prin încălzirea ariei preoptice mediale și inhibarea consumului de apă prin răcirea aceleiași regiuni. Răcirea ariei rostrale ventro-mediale nu a afectat ingestia de apă. Tot experimental, s-a constatat că și excitarea nucleului paraventricular produce creșterea ingestiei de apă, în timp ce distrugerea lui determină abolirea setei. În acest timp animalul de experiență refuză apa.

Sistemul palido-fugal din hipotalamusul lateral este esențial atât pentru ingestia de alimente, cât și pentru ingestia de lichide. Distrucția bilaterală a acestui sistem ce trece prin hipotalamusul lateral provoacă la șobolani afagie și adipsie. Lezarea nucleului ventro-medial la șobolani duce la reducerea aportului de apă fără afectarea aportului de hrană (Stevenson, 1969); în schimb, leziunile întinse ale hipotalamusului lateral determină adipsie și afagie.

După Emmers (1973), aria hipotalamusului lateral poate excita celulele nucleului supraoptic care, la rândul lor, inhibă aria hipotalamusului lateral printr-un circuit feedback negativ.

În mecanismul hipotalamic al setei, un rol important revine deshidratării celulelor nervoase din regiunea respectivă, receptorilor volumetrici, termoreceptorilor, osmoreceptorilor, legăturilor talamusului cu structurile cerebrale supraiacente, cortexului cerebral și tulburărilor metabolice. Spre deosebire de alimente, volumul precis de lichid care trebuie ingerat este relativ neimportant, iar excesul de apă este eliminat rapid din corp. Cu toate acestea, există o cantitate ideală de apă necesară pentru organism, iar deviațiile în plus sau în minus nu au importanță prea mare. Dacă un animal primește într-o anumită unitate de timp o cantitatea mică de lichid, el își întrerupe multe din activitățile sale pentru a evita deshidratarea. Consumarea unei cantități mari de apă duce la stoparea ingestiei lichidiene și la urinare pentru eliminarea excesului.

Reglarea volumului lichidian din corp și consumul de apă nu reprezintă rezultatul unui singur factor stimulator, ca acela al osmoreceptorilor. Această reglare apare ca rezultat al mai multor stimuli, care acționează împreună, direct sau indirect, asupra unor neuroni ai hipotalamusului.

Balanța hidrică este strâns legată de aportul oral de substanțe osmotice, precum și de existența aldosteronului, hormon mineralo-corticoid. În acest proces este implicată o glandă cu secreție internă (suprarenala) asupra căreia hipotalamusul exercită un control mai mult sau mai puțin direct.

Aportul de lichide se află sub dependența a două variabile fiziologice: osmolaritatea tisulară și volumul fluidului vascular. Setea mai poate fi controlată de uscăciunea limbii și de hipertermie, detectate cel puțin în parte de neuroni termosensibili ai hipotalamusului anterior. Prin urmare, semnalele feedback de reglare a apei derivă din stimulii osmotici, care acționează direct asupra celulelor neuronale osmoreceptoare (sau asupra receptorilor nivelului de sodiu) din hipotalamus, precum și din semnalele feedback ale volumului vascular care își au sediul la nivelul circulației cu presiune joasă din atriul stâng și din pereții venelor mari.

Modificarea accentuată a volumului afectează baroreceptorii arcului aortic și pe cei ai sinusului carotidian, iar semnalele provenite din aceste surse inițiază ingestia de apă. Astfel, scăderea volumului sanguin și alte condiții care diminuează sodiul din corp cresc cantitatea de renină secretată de rinichi. Renina, enzimă proteolitică, clivează angiotensinogenul plasmatic în angiotensină I, care este apoi hidrolizată într-o octapeptidă foarte activă numită angiotensin II. Angiotensina II provoacă sete și alte trei acțiuni fiziologice care compensează pierderea de apă:



vasoconstricție, eliberarea unei cantități mari de aldosteron și punerea în libertate a unei cantități mari de vasopresină.

Johnson și Cunningham (1987) au început să elucideze modul de acțiune al angiotensinei și al baroreceptorilor afectați în reglarea aportului de lichide. De mult timp, se suspecta că angiotensina sanguină acționează asupra regiunilor cerebrale care-i permit să depășească bariera hematoencefalică, dar Epstein și colab. (1970) au fost aceia care au demonstrat că angiotensina operează asupra organului subfrontal, structură neurală mică extinsă în ventriculul trei, care prin capilarele sale fenestrate permite trecerea moleculelor sanguine. Organul subfrontal răspunde la concentrații mici de angiotensină II aflate în circulația sanguină. Informația de la acest nivel este trimisă hipotalamusului prin calea care leagă organul subfrontal de aria preoptică ce utilizează drept transmitător o moleculă asemănătoare angiotensinei. În consecință, aceeași moleculă cu rol de hormon și neurotransmițător reglează și ingestia de lichide. Aria preoptică recepționează și informațiile provenite de la baroreceptorii întregului corp, după care le transmite variatelor structuri cerebrale cu rol important în acțiunea de căutare a apei și de integrare a ei. Semnalele provenite de la baroreceptori ajung și la nivelul nucleului paraventricular, care mediază eliberarea vasopresinei și deci retenția apei. Informațiile care limitează aportul de apă sunt mai puțin cunoscute decât cele care o inițiază. Însă nu totdeauna semnalul terminal se suprapune absenței semnalului inițial. Acest principiu este susținut de multe acte fiziologice și comportamentale referitoare la ingestia de apă și alimente. De exemplu, aportul lichidian inițiat de scăderea bruscă a patului vascular prin hemoragii se termină înainte de corectarea deficitului. Acest fapt previne intoxicația cu apă prin exces de diluție lichidiană extracelulară. Comportamentul adaptiv respectiv evită și hiperhidratarea rezultată din absorbția lichidelor din sistemul alimentar, care are loc după încetarea aportului lichidian (Kupfermann, 1991). Legat de ingestia lichidelor trebuie amintite și câteva date cu privire la hormonul antidiuretic. La animalele de experiență, distrugerea bilaterală a nucleului supraoptic hipofizar și întreruperea tractului supraopticohipofizar în apropierea eminenței mediale sau distrugerea întregii neurohipofize duc la apariția diabetului insipid caracterizat prin sete, ingestie nelimitată de lichide și poliurie fără creșterea procentului de glucoză. Hormonul antidiuretic (vasopresina) este secretat direct de celulele nucleului supraoptic și dirijat către lobul posterior al hipofizei prin axonii mielinizați ai tractului supraoptico-hipofizar. Producerea acestui hormon variază cu modificarea presiunii osmotice a sângelui.

Creșterea presiunii osmotice a sângelui care irigă nucleii supraoptici duce la intensificarea activității neuronilor respectivi și la eliberarea hormonului antidiuretic. În condiții de deshidratare experimentală activitatea secretorie a nucleilor supraoptici crește. Scăderea presiunii osmotice a sângelui determinată de ingestie și absorbția apei duce la inhibiția secreției hormonului antidiuretic și la poliurie.

Stimularea electrică a sistemului supraoptic hipofizar favorizează eliberarea hormonului antidiuretic și inhibiția diurezei. După restabilirea balanței hidrice se

produce o reacumulare de vasopresină în lobul posterior al hipofizei. Acest hormon antidiuretic acționează asupra rinichilor, la nivelul tubilor colector distali prin creșterea permeabilității membranei lumenale a segmentelor terminale ale nefronilor (tubii contorți distali și canalele colectoare) pentru apă, având ca rezultat scăderea volumului (1-1,5 litri pe zi) și creșterea concentrației urinii (1000-1200mOsm/Kg apă). Sub influența hormonului antidiuretic crește nu numai reabsorbția apei, dar și cea a ureei. Prin urmare, în segmentele distale ale nefronilor se face concentrarea urinei, de care depinde clearance-ul apei libere.

Clearance-ul poate fi osmolar (apa necesară pentru eliminarea substanțelor dizolvate în urină și formarea unei soluții izotonice cu plasma) și al apei libere (apa care trebuie adăugată sau scăzută din clearance-ul osmolar pentru a se ajunge la volumul urinar total).

În absența hormonului antidiuretic permeabilitatea pentru apă a membranelor acestor celule este foarte redusă și ca urmare fluxul urinar ajunge la 15-20 litri pe zi. Se pare că reabsorbția activă de sodiu, a ionilor de clor și bicarbonați urmează reabsorbției pasive de apă.

Prin injectarea de epinefrină, norepinefrină și acetilcolină, Brooks și colab. (1962) au reușit să accelereze tirul asupra neuronilor supraoptici, constatând în acest mod că acetilcolina și catecolaminele afectează eliberarea hormonului antidiuretic, oxitocic, precum și a altor hormoni hipotalamici și hipofizari.

Impulsurile aferente viscerele și somatice, care mediază eliberarea hormonului antidiuretic, urcă prin trunchiul cerebral împreună cu căile extralemniscle. De aceea, eliberarea hormonului se obține și prin stimularea formațiunii reticulate mezencefalice din apropierea tractului tegmental central, a unor nuclee din complexul amigdaloid, a hipocampului, a tuberculului și a benzii diagonale Broca.

Excitațiile, tulburările emoționale, tensiunea, anesteziile și alcoolul afectează și ele eliberarea hormonului antidiuretic. Stresul emoțional inhibă diureza prin activarea neurohipofizei și deci prin intensificarea secreției substanțelor antidiuretice. Alte trăiri emoționale de tipul plăcerii și nervozității pot provoca emisii spontane de urină.

### **Tulburarea echilibrului hidric**

La om aceasta este mai bine cunoscută decât alte tulburări hipotalamice. Relațiile nucleilor supraoptic și paraventricular cu neurohipofiza și cu hormonul antidiuretic sunt cunoscute încă din 1939.

Controlul homeostazic al osmolarității și al apei corpului depinde de interacțiunea dintre sete, ingestia de lichide și mecanismul de eliberare a hormonului antidiuretic. Controlul apei de către hipotalamus diferă de controlul caloric, deoarece pentru controlul apei se pot identifica osmoreceptori periferici și locali superficiali. Osmoreceptorii care influențează aportul de lichide se află în regiunea anterioară preoptică a hipotalamusului.



Anderson și Erikson (1971) arată că receptorii periventriculari din partea medială a regiunii anterioare- preoptice a hipotalamusului răspund atât de deshidratarea intracelulară determinată de creșterea concentrației sodiului intraventricular, cât și de deshidratarea extracelulară. Receptorii de deshidratare extracelulară răspund la concentrația sanguină hipotalamică locală de angiotensină II și provoacă ingestia de lichide ca răspuns la modificarea volumului sanguin și a altor factori care cresc nivelul hormonului circulant.

Anderson și colab (1975) au produs numeroase sindroame de secreție anormală de hormon antidiuretic prin lezarea regiunii anterioare preoptice a hipotalamusului la capre.

Cel mai ușor se obține diabetul insipid prin distrugerea a cel puțin 90% din neuronii magnocelulari ai nucleilor supraoptic și paraventricular. Leziunile care influențează nucleul supraoptic, însă fără a-l distruge, dau o secreție mare de hormon antidiuretic. În mod clasic, hipotalamusul lateral considerat ca centru al setei conține interneuroni care răspund la stimuli osmotici și neosmotici. Stimularea electrică a acestei regiuni induce polidipsie (Smith și colab., 1962), în timp ce distrucția duce la adipsie temporară. Stimularea structurilor înalte, limbice tinde să inhibe ingestia de lichide și eliberarea de hormon antidiuretic. Totuși, stimularea regiunii ventro-mediale inhibă ingestia de lichide, pe când lezarea acesteia produce hiperdipsie.

### Diabetul insipid

La om, tulburările balanței hidrice rezultă din secreția anormală de hormon antidiuretic, din sete excesivă și din consumul exagerat de apă. Diabetul insipid poate fi temporar când este dat de o leziune intraselară sau a tijeii pituitare, sau permanent când este produs de lezarea eminentei mediale sau a hipotalamusului anterior. Cauza cea mai frecventă o constituie procesele tumorale, inflamatorii, vasculare sau traumatice, care se dezvoltă la nivelul hipotalamusului.

Multe tumori din vecinătate, ce se dezvoltă în ventriculul III, în pereții lui sau pe planșeu, la nivelul hipofizei, infundibulului, pinealei, mezencefalului sau cerebelului, pot da naștere la disfuncții hipotalamice prin dezvoltarea unei hidrocefalii interne cu efecte de compresiune asupra hipotalamusului.

În hipotalamus, ca și în alte părți din creier, dezvoltarea lentă a unui proces patologic poate ajunge la dimensiuni considerabile înainte de a produce simptome evidente, în timp ce dezvoltarea bruscă sau rapidă a unui proces patologic, chiar dacă este de dimensiuni reduse, produce modificări clinice evidente, în special când leziunea este localizată în puncte importante.

În neurochirurgie, diabetul insipid poate apare imediat după ablația unor tumori hipofizare mari prin lezarea sistemului eminentei mediale supraoptico-paraventriculare. Această tulburare a constituit subiectul unei excelente revizui făcute de către Martin și colab. (1977). Potrivit observațiilor efectuate lipsa

hormonului antidiuretic permite rinichiului să excrete o mare cantitate de urină diluată, deshidratare ce duce la polidipsie compensatorie, care menține concentrația de sodiu cu puțin mai mare decât cea normală.

Există și cazuri familiale, idiopatice care răspund la tratamentul cu hormon antidiuretic, dar numai dacă lipsesc alte simptome de disfuncție hipotalamică sau pituitară. La autopsie s-a constatat absența într-o proporție de 90% a neuronilor magnocelulari din nucleul supraoptic și paraventricular (Geen și colab., 1970).

### Sindromul de hipernatremie esențială

După Plum (1972) patru sunt trăsăturile ce caracterizează hipernatremia esențială: 1) hipernatremia neînsoțită de deficit lichidian corespunzător; 2) păstrarea răspunsului tubilor renali la hormonul antidiuretic; 3) secreția inadecvată de hormon antidiuretic ca răspuns la stimuli osmotici; 4) absența sau deficiența setei, în ciuda păstrării comportamentului conștient.

Adevărata hipertermie esențială este rară, dar de cele mai multe ori apare la bolnavii cu ocluzia bilaterală a arterei cerebrale anterioare. În forma cronică a hipernatremiei esențiale, sodiul seric fiind puțin ridicat, pacienții manifestă numai lipsa de sete (Gordy și colab., 1949; Kastella și colab., 1974). Când sodiul urcă la 160-170 mEq/dl la mulți pacienți se instalează slăbire, febră, crampe și hipersensibilitatea musculară, care ajunge până la oboseală, ataxie și chiar paralizie.

Simptomele mintale includ letargia, anorexia, depresia, paranoia și iritabilitatea. În creșteri severe ale nivelului sodiului peste 180 mEq/dl apare confuzia, stupoarea și moartea (Plum și Van Uitert, 1978).

Refuzul pacienților de a bea face ca ingestia de apă să nu fie suficientă pentru menținerea osmolarității normale (Golonka și colab., 1970). Au fost descrise și câteva cazuri care inițial au avut polidipsie și probabil un diabet insipid preexistent (Avioli și colab., 1962; Wise, 1962). S-a constatat chiar o ușoară hipovolemie sau normovolemie la pacienții a căror proporție de sodiu era de 216 mEq/dl. În diabet este prezentă și hiperkalemia, ea contribuind la apariția simptomelor musculare. Volumul de urină este scăzut sau normal, dar totdeauna mai diluat decât ne-am fi așteptat de la hiperosmolaritatea serului.

Administrarea a 5 unități de hormon antidiuretic induce o urină mai concentrată, fapt care probează existența unui parțial diabet insipid la acești bolnavi (Sridhar și colab., 1974).

Localizarea leziunii hipotalamice la diabetici este mai puțin cunoscută deoarece, la mulți pacienți controalele radiografice au fost normale, iar la cei cu simptome neurologice, de obicei la autopsie întreaga regiune hipotalamică apărea distrusă (Killefer și Stern, 1970; Lascelles și Lewis, 1972). În puține cazuri leziunea era restrânsă la regiunea anterioară preoptică și la regiunea tuberală.

Plum și Van Uitert (1978) explică mecanismul hipernatremiei prin deficitul capacității de secreție a hormonului antidiuretic corespunzător stimulării



osmoreceptorilor și prin volumul receptorilor. Prezența normovolemiei care însoțește hipernatremia este dificil de explicat, dar ea poate reflecta continuarea răspunsului hormonului antidiuretic la semnalele receptorilor de deshidratare extracelulară însoțit de o selectivă lipsă de răspuns la semnalele receptorilor de deshidratare intracelulară.

Tratamentul acestei hipernatremii constă în scăderea sodiului și ridicarea potasiului în serul sanguin printr-un regim alimentar adecvat și prin obligarea bolnavului de a consuma mai mulți litri de apă zilnic.

Spironolactona, clorpropamina și tiazida ca diuretice contribuie la atingerea acestui scop. Trebuie să stea în atenția noastră prevenirea simptomului de intoxicație cu apă care poate apărea în caz de hidratare rapidă, când serul continuă să fie hiperosmotic (Plum și Van Uiter, 1978).

Eliberarea normală de hormon antidiuretic, cu absența setei, explică unele cazuri cu sindrom de hipernatremie esențială sau pot constitui variante ale acestuia.

### **Sindromul de secreție crescută de hormon antidiuretic (HAD) și sete normală**

Acest sindrom a fost sugerat de Schwartz și colab. (1957) la un pacient cu carcinom pulmonar dar poate apărea și în alte boli cum ar fi traumatismul cranian, hemoragia subarahnoidiană, hidrocefalia, procesul expansiv intracranian, meningitele, encefalitele, porfirie, neuropatia periferică, mielinoliza centro-pontină, mixedemul, insuficiența cardiacă, afecțiunile pulmonare neoplazice și intoxicațiile (Greis și colab., 1974).

Caracteristica esențială a sindromului constă în hiperosmolaritate serică și hipernatremie, excreție renală de sodiu și urină inadecvat de hiperosmotică, fără evidență clinică de depleție lichidiană a corpului.

În general, leziunile hipotalamusului sunt întinse și imprecise (Greis și colab., 1974). Mecanismul care duce la apariția unui astfel de sindrom constă în iritarea neurosecreției neuronilor care eliberează o cantitate excesivă de hormon antidiuretic, precum și posibila distrucție a axonilor inhibitori din regiunea nucleilor supraoptic și paraventricular. În cazul porfiriei nu au fost găsite leziuni cerebrale, fapt care a dus la ipoteza existenței unei leziuni a receptorilor periferici pentru volumul lichidian apărut secundar interesării nervoase periferice.

Aceeași ipoteză rămâne valabilă și pentru pacienții cu polinevrită (Robertson și colab., 1973). La cei cu boli ale trunchiului cerebral, sindromul este atribuit întreruperii căilor centrale ascendente (Conger și colab., 1967). Apariția sindromului în boli ale sistemului limbic sau în encefalite herpetice se datorează probabil lezării structurilor telencefalice, care în mod normal inhibă consumul de lichide și eliberarea de HAD.

**Hiperdipsia** sau consumul excesiv de apă în absența hipovolemiei sau hiperosmolarității lichidului intracelular ori extracelular, socotită primară, trebuie diferențiată de hiperdipsia compensatorie care apare în diabetul insipid, poliuria

renală și diabetul zaharat (Plum și Van Uiter, 1978). Simptomele hiperdipsiei severe ca hipervolemia, hiponatremia și intoxicația cu apă se manifestă frecvent. Ultima apare în disfuncții renale sau când se ingeră mai mult de 15 litri de apă/ m<sup>2</sup> (suprafață corporală) pe zi depășind capacitatea renală normală de diluție (Pickering și Hogan, 1971).

Restricția de lichide duce la dispariția intoxicației cu apă. Hiperdipsia apare la cei care obișnuiesc să bea și la cei care au sete excesivă, intoxicația cu apă instalându-se după un consum de peste 6 litri.

Prezența unor agenți anormali poate stimula setea hipotalamică, ducând la hiperdipsie. Angiotensina II provoacă setea prin stimularea receptorilor extracelulari de deshidratare.

Rogers și colab. (1973) au postulat că acest mecanism explică de ce unii pacienți cu boli renale cronice au sete excesivă, chiar dacă hemodializa le menține balanța electrolitică normală.

În literatura medicală sunt descrise puține cazuri cu hiperdipsie dată de boli hipotalamice intrinseci (Martin și colab., 1977).

### Alte funcții hipotalamice

În afara celor trei mari sisteme de reglare a mediului intern al organismului (neuroendocrin, autonom și motivațional), hipotalamusul ține sub control și alte funcții ale acestuia cum ar fi: metabolismul, comportamentul afectiv emoțional, ciclul somn/veghe (ritmul circadian), somnul.

**a) Reglarea metabolismului glucidic** reclamă participarea hipotalmusului. Claude Bernard a demonstrat primul existența unui centru nervos hiperglicemiat. Ulterior, Camus și Roussy (1912-1914) au confirmat existența unui astfel de centru și au individualizat unii centri glicoreglatori hipotalamici. Mulți cercetători au produs hiperglicemie prin excitarea hipotalamusului lateral și a celui anterior.

Totuși, hipotalamusul nu poate fi indispensabil pentru metabolismul hidrocarboant așa cum este pentru alte metabolisme (Weill și Bernfeld, 1954).

Mayer (1955) menționează existența unor glucoreceptori aflați în zona ventromedială a hipotalamusului, care sunt avertizați asupra nivelului glicemiei și mai ales asupra capacității de utilizare a glucozei din sânge.

Balagura (1970) menționează existența unui adevărat sistem hipotalamic de detectare a glucozei, care este localizat în hipotalamusul ventromedial și cel lateral. Acest sistem neurohumoral răspunde nu numai la stimulii chimici direcți, ci și la factorii psihologici, anticipați prin modificări neuroumorale. Schade (1970) a folosit termenul de „glucosenzori” pentru a denumi neuronii din hipotalmus sensibili la variațiile glicemiei.

Oomura și colab. (1969) au făcut o serie de experiențe interesante prin aplicarea de glucoză cu o micropipetă pe suprafața membranei neuronilor din variate arii hipotalmice.



Prin testarea a 57 de neuroni din hipotalamusul ventromedial, s-a constatat că aproape jumătate (24) au fost glucosensibili, iar restul au rămas fără nici un efect. În hipotalamusul lateral, din 68 de neuroni 21 au fost glucosensibili, 15 au fost negativ glucosensibili și 28 au rămas fără nici un efect. În ambele arii, un procentaj ridicat de neuroni s-a arătat a fi cu proprietăți glucosenzitive. În alte regiuni cerebrale, corticale și talamice nu au fost găsiți neuroni glucosensibili.

Este interesant că ambele arii sunt în legătură cu centrii de sațietate și de foame. Aceste experiențe susțin ipoteza existenței unui glucostat hipotalamic.

**b) Reglarea metabolismului lipidic** este corelată cu a celui glucidic. Weill și Bernfeld (1954) și Brooke (1962) afirmă că lezarea nucleului ventromedial duce la obezitate, ceea ce determină să se acorde o mai mare importanță hiperfagiei diencefalice, prin care se explică obezitatea ca rezultat al bulimiei produsă de leziuni diencefalice.

Legat de metabolismul lipidic, în hipotalamus s-au descris neuroni sensibili la variațiile nivelului lipemiei. Acești liporeceptori hipotalamici ar exercita un control lipostatic al ingestiei alimentare (Kennedy, 1952).

**c) Reglarea metabolismului protidic** și a troficității face parte din funcțiile specifice ale hipotalamusului. Urmărind evoluția a 11 bolnavi, a căror vârstă a variat între 26 și 52 de ani, cu anevrisme de comunicantă anterioară rupte și a căror stare generală și de conștiință a fost foarte serios afectată (comă gr. I și III), am constatat că proteinemia a scăzut mult sub limitele normale și că după accident (6-21 zile) au început să prezinte tulburări trofice de tipul escarelor și veziculelor. La 2-3 zile de la debut, 8 bolnavi au ieșit din starea de comă, dar au rămas bradipsihici și confuzi. Cu ajutorul mijloacelor de terapie intensivă, acești bolnavi au supraviețuit între 1 și 3 luni.

Tot în acest timp, proteinemia s-a menținut mult scăzută, deși au fost alimentați corespunzător prin sondă gastrică și perfuzii. În afara procentajului proteinemic foarte scăzut, au apărut escare întinse chiar din primele 6-17 zile de la debut. Trei din acești bolnavi au prezentat în plus vezicule întinse de 3-4 cm pe membre și corp, care conțineau un lichid clar. Îngrijirile au fost minuțioase, dar escarele au evoluat.

La TC și la necropsie s-a constatat prezența unor hemoragii distructive întinse la nivelul hipotalamusului anterior și al celui lateral pornite din anevrismul de comunicantă anterioară. Din aceste date putem trage concluzia că hipotalamusul anterior și cel lateral constituie un important centru de reglare a metabolismului protidic și de menținere a unei troficități normale a țesuturilor.

**d) Reglarea metabolismului ureic** nu este posibilă fără participarea hipotalamusului. Șapte bolnavi cu anevrisme de comunicantă anterioară rupte, a căror stare generală și de conștiință a fost alterată, au prezentat între a șaptea și a nouăsprezecea zi de la ruperea anevrismului o creștere marcată a uremiei, care a atins cifra de 5,8g‰. Această enormă cantitate de uree sanguină (produs de degradare finală a proteinelor prezente în mod normal în sânge, în concentrație de 0,25-0,40g ‰) a determinat ca aceasta să fie eliminată, în mare parte, prin piele

odată cu transpirația. Bolnavii aveau fața, sprâncenele, mustața și chiar părul de pe cap și restul corpului albe, datorită microcristalelor de uree rămase după evaporarea transpirației. Acești bolnavi relativ tineri, între 21 și 45 ani, nu au suferit anterior de nici o afecțiune renală sau de alte boli. În ciuda intenselor metode de reechilibrare hidroelectrolitică, uremia s-a menținut la cifre foarte ridicate, încât până la urmă toți acești bolnavi au decedat fără să poată fi operați.

La necropsie s-au constatat leziuni nete ale hipotalamusului anterior provocate de hemoragia provenită din ruperea anevrismului de comunicantă anterioară.

Este interesant că la acești bolnavi tulburările trofice și cele disproteinemice au fost minime, în schimb evoluția către deces a fost mult mai rapidă decât la cei cu tulburări trofice și de proteinemie. Aceste date pledează în favoarea unui centru hipotalamic de reglare a metabolismului uremic.

**e) Reglarea cantitativă a elementelor figurate ale sângelui** a fost relevată de Weill și Bernfeld (1954) și apoi de Baciș (1970) care au observat experimental, existența unor modificări cantitative, în cazul leziunilor hipotalamice.

Arseni, Dănilă și Constantinescu (1977) au descris existența unor marcate anemii hipocrome și a altor modificări sanguine la bolnavii la care s-a făcut ablația unor tumori hipofizare cu evoluție superioară care intresau hipotalamusul.

**f) Reglarea comportamentului afectiv-emoțional** Este recunoscut faptul că expresia fiziologică a emoției este dependentă, în parte, de componenta simpatică și parasimpatică a sistemului nervos autonom și că hipotalamusul este unul din principalele centre legat de inițierea și integrarea sistemului autonom periferic cu activitate somatică, ce însoțește expresia emoțională.

Furia și teama reprezintă cele mai comune tulburări comportamentale descrise la omul adult și la copiii sub 2 ani fiind determinate de diferite maladii ale hipotalamusului. Furia și teama asociate cu descărcări simpatice corelează cu comportamentul afectiv de luptă și fugă. La om, acest răspuns hipotalamic de furie și de teamă apare episodic în cadrul general al unui comportament normal. Mulți pacienți sunt conștienți de comportamentul lor anormal, cerându-și chiar iertare. Inadecvat de intense, aceste reacții de furie și de teamă izbucnesc și se exteriorizează ca răspuns la un stimul de amenințare sau de restrângere și întârziere a hranei. Asemenea atacuri de furie și de agresiune pot apărea și în cadrul leziunilor lobului temporal medial și de cortex orbitofrontal. La om, leziunile distructive ale hipotalamusului care dau naștere la astfel de comportamente interesează partea bazală (Reeves, 1969; Killeffer și Stern, 1970), iar localizarea acestor leziuni mici sugerează că locurile critice se găsesc sau la nivelul căilor descendente de la cortexul cerebral, la hipotalamus sau la nivelul regiunii nucleare ventromediale către care converg aceste inputuri (Reeves și Plum, 1969). Astfel, influența inhibitorie a telencefalului asupra controlului comportamental primitiv hipotalamic este disruptă.

Furia este expresia emoțional-comportamentală produsă de leziunile distructive ale părții hipotalamice ventromediale la om. În contrast, stimularea regiunii hipotalamice posterioare, care la om exteriorizează răspunsuri simpatice, provoacă mai curând reacții de teamă și de groază decât de furie (Sano și coalb., 1970). Rezultă că hipotalamusul își exercită influența asupra comportamentului



în trei feluri: coordonează componentele motorie, autonomă și endocrină ale comportamentului, produce un comportament adecvat stării afective și influențează intensitatea fiecărui act comportamental. De asemenea, activitatea hipotalamusului poate influența și starea afectivă intrinsecă a organismului, care datorită influenței corticale inhibitorii și actului volitiv poate rămâne uneori interiorizată. Experiențele făcute pe animale confirmă datele de mai sus.

Astfel când la o pisică neanesteziată se aplică un stimul electric în regiunea preforfornicală, aceasta reacționează ca și cum ar fi speriată de un câine; scuipă, mârâie, pupilele i se dilată, coada se zbârlește, părul devine erectil, iar urechile se duc pe spate. Și stimularea hipotalamusului lateral provoacă accese de furie, iar lezarea aceleiași arii duce la apariția placidității. Animalele cu leziuni hipotalamice mediale devin foarte excitabile, angajându-se ușor în răspunsuri agresive.

Reacțiile de furie pot fi evocate mai ușor la animalele decorticate deoarece la acestea apare o secreție abundentă de adrenalină, epinefrină și corticosteroizi.

În anul 1925 Cannon și Britton au denumit această constelație de răspunsuri „sham rage” (furie simulată).

Hess a obiectat asupra tratamentului, deoarece a considerat reacția respectivă ca o emoție sau o furie adevărată, numind-o reacție afectivă de apărare.

Reacția de furie poate fi indusă și de stimularea zonei mediale a complexului amigdaloid, a tuberculului olfactiv, a striei terminale, precum și a substanței cenușii periaqueductale, formațiuni cu care hipotalamusul are strânse conexiuni. Paradoxal, lezarea bilaterală a nucleului ventromedial poate determina apariția unui comportament sălbatic și reacții extreme de furie în prezența unor stimuli externi (Weatley, 1944; Glusman, 1974). Leziunile bilaterale ale lemniscului medial și ale tractului spinotalamic blochează răspunsurile la stimuli. Toate aceste manifestări agresive sunt considerate mai mult răspunsuri de autoconservare. Deși reacțiile emoționale sunt provocate de stimularea electrică directă a hipotalamusului, această structură nu poate fi privită ca centrul unui mecanism eferent care influențează numai nivelurile inferioare ale nevraxului. Cortexul cerebral, talamusul și alte structuri proencefalice au influență netă asupra hipotalamusului, condiționând în mare măsură răspunsurile, în special la om.

În ceea ce privește comportamentul sălbatic care apare după lezarea bilaterală a nucleului ventromedial, aceasta s-ar putea datora întreruperii sistemului reticulat inhibitor ascendent, ca și în cazul sindromului de logoree cu hiperkinezie (Dănăilă, 1972; Arseni și Dănăilă, 1977), dar cu alte localizări și influențe.

Alte studii bazate pe stimularea electrică arată că regiunea perifornicală și substanța cenușie a mezencefalului joacă un rol important în expresia de mânie (Hunsperger, 1956).

Faptul că reacția de furie indusă de hipotalamus poate fi blocată de leziunile mezencefalice sugerează că unele dintre aceste structuri sunt esențiale pentru elaborarea comportamentului agresiv.

Stimularea electrică a complexului nuclear amigdaloid produce, de asemenea, modificări comportamentale în care teama și furia sunt proeminente. Totuși, când porțiuni ale nucleului amigdaloid bazolateral sunt stimulate simultan cu hipotalamu-

sul, furia hipotalamică este blocată. Se crede că mecanismul inhibitor al comportamentului de furie este în legătură cu neocortexul lobilor frontali, deși căile exacte nu sunt bine stabilite. Astfel, la pisică a fost produs comportamentul de furie prin lezarea bilaterală a lobilor frontali bazali, chiar deasupra chiasmei optice, prin ablația bilaterală a suprafețelor orbitale ale lobilor frontali, prin distrucția bilaterală a tuberculilor olfactivi și prin distrucția bilaterală a nucleilor hipotalmici ventromediali.

Pare general acceptat că substratul neurofiziologic al comportamentului anormal și agresiv este generat într-un mod diferențiat și selectiv, predominant de structurile cerebrale rostrale până la rombencefal.

Această parte a sistemului nervos central conține formațiuni neurale legate de un comportament de scop, direcționat de o componentă emoțională și una motivațională concomitente, care fac posibilă această conduită. Impulsurile generate de sistemul senzorial în cortexul cerebral sau în structurile neurale nedeterminate pot atrage mecanisme care excită sistemele visceral și somatic, a căror activitatea dă expresie fiziologică comportamentului agresiv.

Kupfermann (1991) arată că hipotalamusul integrează toate răspunsurile motorii și endocrine implicate într-un comportament emoțional, în timp ce telencefalul suprimă răspunsurile emoționale la stimuli inconsecvenți și neînsemnați.

Telencefalul conectează hipotalamusul cu lumea externă, fapt care permite elaborarea unor concomitențe autonome și endocrine corespunzătoare expresiilor emoționale ca răspuns la condițiile externe.

Structurile telencefalice asigură și mecanismele naturale necesare direcționării răspunsurilor scheleto-motorii către evenimentele externe, astfel încât un obiect poate fi apucat sau evitat în funcție de necesități și de experiența anterioară, ontogenetică a individului. În fine, neocortexul reprezintă o stație crucială în conștientizarea experienței emoționale și pentru adaptarea acesteia la viața socială.

Actualmente se subestimează rolul corpiilor mamilari și al nucleului talamic anterior în comportamentul emoțional. Aceste structuri sunt în relație mai strânsă cu procesele de înmagazinare ale memoriei. Pe de altă parte, amigdala pe care Papez nu a inclus-o în circuitul său pare să joace un rol important în emoții prin transmiterea informațiilor înalt cognitive către structurile hipotalamice, altele decât cele ale corpiilor mamilari. Amigdala are un mare număr de aferențe și eferențe. Diferenții săi nuclei, care comunică direct cu structurile corticale, hipocampice, hipotalamice, talamice, striate și de trunchi cerebral sunt implicați la om în reglarea multor funcții homeostatice.

Le Doux (1989) sugerează că inputurile talamice directe mediază răspunsurile motivaționale primitive, cu latență scurtă și prepară amigdala pentru recepționarea unor informații mai sofisticate primite de la centrii mai înalți.

Având în vedere numeroasele conexiuni corticosubcorticeale, precum și faptul că hipotalamusul este un mare centru reglator al funcției endocrine și neurovegetative, rolul său în dirijarea comportamentului motivațional, de autoconservare și adaptare este de netăgăduit.



Experiența emoțională conștientă are la bază outputurile amigdaliene, inputurile provenite din activitatea efectorilor autonomici și feedbackul structurilor corticale, în special din regiunea prefrontală.

De aici, rezultă faptul că experiența emoțională descrisă ca teamă, plăcere sau satisfacție se află în interacțiune directă cu formațiunile hipotalamo-corticale. Acest fapt este susținut și de comportamentul pacienților la care s-a extirpat cortexul prefrontal și girusul cinguli, structuri cerebrale aflate în legătură directă cu sistemul limbic. Pacienții respectivi suportă foarte bine durerea cronică. Totuși, când aceasta este percepută, deși se asociază cu reacții autonome corespunzătoare, răspunsul emoțional rămâne destul de slab.

Stimulii noxici și plăcuți au două efecte principale. Primul se referă la răspunsurile autonome și endocrine integrate la nivel hipotalamic, ce modifică starea internă preparând-o pentru atac, fugă, experiență sexuală și alte comportamente adaptive. Intrarea în acțiune a reacțiilor interne corespunzătoare este relativ simplă și fără nici un control din partea conștiinței. Al doilea set de mecanisme implică telencefalul, care intră în acțiune când animalul interacționează cu mediul extern. Acesta modulează comportamentul animalului și înlătură toate asperitățile atât prin feedbackul proprioceptiv, cât și prin programul locomotor central.

La om, în complexitatea enormă a mediului extern intervine și conștiința. Mediul extern este mult mai puțin predictibil decât mediul intern. Mai mult, în cadrul interacțiunii noastre cu mediul ambiant dispunem de numeroase răspunsuri alternative, fapt datorită căruia acțiunile noastre trebuie ghidate de planuri și strategii.

Apatia este comportamentul emoțional opus celui de teamă și de furie.

Lezarea tractusurilor simpatice ale hipotalamusului lateral sau posterior produce la animale o stare apatică hipoactivă. La om, este nmai dificil de circumscris acest loc, dar datele care există sugerează distribuții anatomice similare (Kamalian și colab., 1975).

Leziunile stereotaxice din hipotalmusul medial posterior (Sano și colab., 1970; Schwartz și Mc Cormack, 1972), de unde pornesc răspunsurile simpatice la diferiți stimuli în structurile regiunii caudolaterale, produc apatie și hipoactivitate la pacienții care anterior au prezentat un comportament de atac agresiv.

- Euforia însoțită de o aparentă stare de confort este neobișnuită și numai rar este considerată ca o manifestare a unei disfuncții hipotalmice la adult (Malamud, 1967).

Tumorile hipotalamice anterioare la copiii sub 2 ani sunt de obicei asociate cu un comportament vesel inadecvat (Diamond și colab., 1966). După această vârstă, lipsa de grijă asociată cu hiperactivitate dispar în mod obișnuit și se transformă într-un comportament agresiv (Gamstrop și colab., 1967). Speculațiile asupra patogeniei acestei tulburări de comportament s-au centrat în jurul disrupției căilor cortico-fronto-talamo-hipotalamice în cazul leziunilor hipotalmusului anterior. Tulburări echivalente apar și după lobotomia frontală, dar cu greu ne putem explica comportamentul euforic la copiii sub 2 ani (Plum și Van Uiter, 1978).

- Comportamentul sexual excesiv sau necontrolat reprezintă o manifestare rară, cu multe semne de întrebare, care apare în afectarea sistemului limbic la om. Oricum, leziunile lobului temporal medial produc un comportament hipersexual asociat sau nu cu agresiuni.

Poeck și Pilleri (1965) au relevat că leziunile hipotalamusului produc un comportament hipersexual separat de furie și de dorința excesivă. Invers, scăderea libidoului reprezintă un simptom frecvent întâlnit în bolile hipotalamusului, în special la masculi. Aproape toate aceste cazuri corect evaluate au prezentat deficiență gonadotrofică datorită secreției de LHRH.

În concluzie, hipotalamusul nu este numai un nucleu motor pentru sistemul nervos autonom, ci și un important centru de integrare a diferitelor inputuri necesare asigurării unor răspunsuri adecvate, coerente și bine organizate atât autonome, cât și somatice. Deoarece multe din aceste răspunsuri se aseamănă cu cele observate în timpul diferitelor tipuri de comportamente emoționale, s-a sugerat că hipotalamusul integrează și coordonează expresia comportamentală a acestor stări emoționale.

**g) Reglarea memoriei** Se știe că hipotalamusul este inclus în mecanismele neurale ale memoriei, afirmație susținută atât de datele experimentale, cât și de cele clinice. Caude și L'Hermiette (1917) au fost primii care au corelat pierderea memoriei la oameni cu leziuni neoplazice ale corpurilor mamilari. Cercetările ulterioare au condus la concluzia că memoria se tulbură frecvent după lezarea hipotalamusului ventromedial la om și mai puțin în cazul leziunilor din afara acestei regiuni.

Tulburările funcțiilor mnezice apar în leziunile hipotalamice datorită afectării numeroaselor conexiuni ale hipotalamusului cu structurile a căror importanță este cunoscută pentru memorie (formațiunea reticulată a trunchiului cerebral, hipocampusul, sistemul limbic). Hipocampusul este esențial pentru memoria pe termen scurt, în schimb secționarea fornixului (proiecția majoră a hipocampusului către hipotalamus) nu duce la pierderea memoriei (Garcia-Bengachea și colab., 1954).

Experimentând pe animale, Gold și Prolux (1972) au demonstrat că achizițiile pe termen scurt ale memoriei reclamă integritatea hipotalamusului ventromedial. S-a evidențiat și faptul că un comportament de evitare la stimulii aversivi nu poate fi condiționat la șobolanii cu leziuni ale hipotalamusului lateral. Totuși, fenomenul inițial constă în pierderea răspunsurilor afective la stimulii externi și apoi în dificultatea de a forma noi asociații (Schwartz și colab., 1974). Pierderea memoriei pe termen scurt produsă de lezarea hipotalamusului lateral a fost atribuită întreruperii căilor de proiecție amigdalofugale către regiunea nucleului ventromedial.

Analiza cazurilor cu leziuni distructive întinse ne ajută prea puțin la definiția suportului anatomic al memoriei. Leziunile hipotalamice duc la pierderea memoriei numai când boala distruge zona terminală, care este critică pentru memorie, sau ambele proiecții amigdalofugale și fornixul din acea zonă.



În ceea ce privește inteligența, aceasta depinde de abilitatea subiectului de a-și reaminti sarcina pe care o are de îndeplinit conform motivației și de a acționa și a se comporta într-o manieră cât mai adecvată și selectivă în condițiile care se ivesc la un moment dat.

Pacienții cu leziuni strict hipotalamice ventro-mediale au severe tulburări mintale. Unii au manifestări dementiale, iar alții au halucinații, manifestând reținere față de orice contact cu mediul înconjurător.

Halucinațiile apar în contextul unui delir scurt, neconstituind un comportament caracteristic al demenței.

**h) Reglarea ritmului circadian** Ritmurile sunt caracteristici omniprezente în toate sistemele vii.

După durată un ritm biologic poate fi: ultradian cu durată de câteva fracțiuni de secundă, câteva minute sau câteva ore (de exemplu ciclul REM din somnul uman cu durată de 90-120 de minute, eliberarea episodică a unor hormoni care se suprapun ciclului circadian-ritmul de eliberare a hormonului de creștere la șobolan are o perioadă de aproximativ trei ore etc); circadian cu durată de aproximativ o zi; infradian cu durată de mai multe zile (exemplu ciclul menstrual uman de 28 de zile); sezonier (existența fotoperioadelor sezoniere din regiunile polare) și circanual determinat de timpul geofizic a cărui frecvență se situează în jur de un an.

Ciclurile comportamentale cu durată de un an au apărut ca rezultat al înclinării axei pământului.

În cadrul ciclului circadian unele animale activează în timpul zilei, iar altele în timpul nopții.

Ritmurile și ciclurile biologice au la bază aspecte fiziologice și comportamentale. Unele ritmuri intrinseci, endogene pentru organism (de exemplu hrănirea) acționează permanent indiferent de lumină sau întuneric. Asemenea unui ceas care poate să meargă înainte sau să rămână în urmă, ceasurile biologice nu dispun de o exactitate absolută. Prin urmare, ritmul circadian nu înseamnă fix 24 de ore, ci o perioadă de aproximativ 24 de ore.

În interiorul unor celule există procese biochimice ritmice cu o durată de 24 de ore. Astfel de celule, cum ar fi cele ale glandelor endocrine, constituie țesuturi cu ritm de 24 de ore și organe cu ritm de 24 de ore. În acest mod se explică fluctuațiile biochimice, fiziologice și endocrine din cadrul ciclului respectiv. Totuși, uneori, elementele ciclurilor se întrepătrund. Pulsul cardiac de pildă are un ritm ultradian, dar prezintă și variații circadiene, valoarea sa fiind maximă ziua și minimă noaptea. Fiecare organism este reglat de mai multe ceasuri biologice ale căror ritmuri ierarhizate se reglează reciproc, au relații strânse unele cu altele și se supun și ciclului lumină/întuneric. Ele au vârfuri cu activitate maximă și minimă în decursul celor 24 de ore. Din această cauză este necesar a se susține ideea existenței unui ceasornic biologic reglator al tuturor ritmurilor interne.

În fine, multiplicitatea ritmurilor relevă și importanța diferitelor perioade din timpul zilei pentru anumite domenii ale biologiei și medicinei. Se știe că bolile

înregistrează maximum și minimum la anumite ore, în anumite zile, luni sau anotimpuri. Astfel, infarctul miocardic se produce mai ales dimineața, seara și în ziua de luni la reluarea activității săptămânale. Criza de astm apare mai frecvent în timpul nopții. Hemoragiile cerebrale survin adesea în lunile cele mai friguroase și în cele mai călduroase. Ulcerul se manifestă mai acut primăvara și toamna. De aici ideea că tratamentele își pot mări eficacitatea, dacă sunt administrate în legătură cu manifestarea în timp a maladiilor și cu gradul de toleranță al medicațiilor de către organismul uman (cronoterapia și cronoeficacitatea). Prin urmare, puterea de acțiune a medicamentelor și magnitudinea efectelor secundare nedorite pot varia în decursul celor 24 de ore datorită biologiei de bază a organismului care luptă pentru menținerea homeostazei temporale, esențială pentru viață și ritmicitatea zilnică. Din păcate, în practica medicală generală persistă obiceiul prescrierii și administrării medicamentelor de trei ori pe zi.

Ciclul somn-veghe face parte din ritmul endogen al corpului antrenat de ciclul zi-noapte, iar lumina, indicator al timpului, reprezintă stimulul acestui ceasornic circadian.

#### Terminologia ritmurilor

Perioada este reprezentată de timpul necesar pentru derularea completă a unui ciclu (Fig. 72) sau timpul necesar de revenire la punctul de plecare după un ciclu. Perioada ciclului menstrual este de aproximativ 28 de zile. Amplitudinea este dată de distanța maximă a vârfului față de valoarea medie.

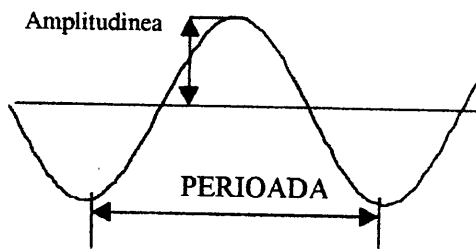


Fig. 72. Parametrii semnalelor armonice (sinusoidale)

Fiecare punct al unui ciclu este o fază. Vârful și adâncitura (sco-bitura) ritmului sunt exemple de fază. Două ceasornice sau ritmuri sincronizate sunt exact descrise ca fiind în fază (Fig. 73 a,b,c).

Când două ritmuri nu coincid în timp pot fi ușor în afara fazei (b) sau cu  $180^\circ$  în afara fazei (c).

Necoincidența ritmurilor situate în afara fazei este măsurată în grade.

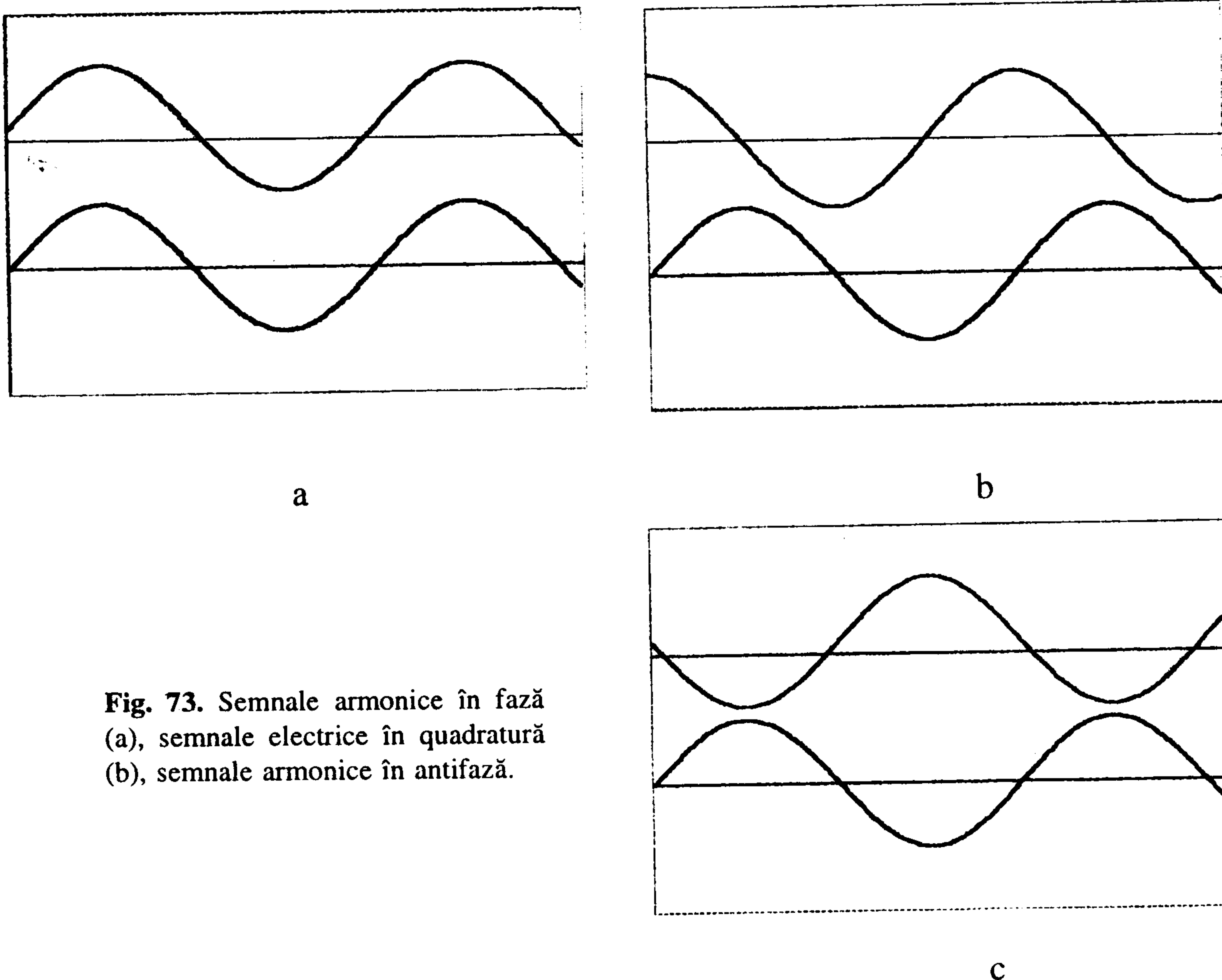
O activitate poate fi deci în fază cu ciclul lumină/întuneric (a) sau poate avea o anumită deplasare în afara fazei ciclului lumină/întuneric (b+c).

**Exemple de ritmuri circadiene.** Omul este o ființă diurnă prin faptul că activitatea sa se desfășoară predominant în timpul zilei.

Activitatea ciclului circadian poate fi divizată în două faze nu necesar egale ca durată: faza activă și faza inactivă, în timpul căreia individul se odihnește sau doarme.

Relațiile dintre faza activă și cea inactivă diferă după condițiile de antrenament, putând fi scurtate sau prelungite. Importantă este persistența ritmului în afara semnalelor. Animalele au multe ritmuri zilnice, dar nu toate sunt circadiene. Dacă în condiții constante de lumină ritmicitatea se pierde, atunci ritmul nu poate fi considerat circadian.





**Fig. 73.** Semnale armonice în fază (a), semnale electrice în quadratură (b), semnale armonice în antifază.

Ritmurile circadiene sunt sisteme active capabile să-și autoîntrețină endogen oscilațiile. Testul clasic de discriminare a ritmurilor endogene de cele exogene constă în înlăturarea tuturor agenților ciclici din mediul înconjurător și în determinarea persistenței sau dispariției ritmului în aceste condiții.

Comportamenul oamenilor care au petrecut o anumită perioadă de timp în caverne, izolați de factorii exogeni sociali, cognitivi, de ritmul lumină/întuneric, de umiditate, de temperatură etc. a relevat că timpul și durata somnului s-au menținut constante datorită ceasornicului biologic endogen. Și ciclul somn/veghe, care a depășit puțin timpul de 24 de ore (media a fost de 24,5 ore) a influențat constantele mediului intern, comportamentul și performanțele.

**Constituienți ai ritmului circadian.** Creierul are cel puțin un oscilator sau un pacemaker central, care coordonează ritmurile circadiene și inputurile legate de timp. Anumite specii au mai mulți pacemakers circadieni cerebrali, iar fiecare pacemaker poate avea unul sau mai mulți oscilatori. La unele nevertebrate și vertebrate, pacemakerul circadian se află în ochi și în glanda pineală (cel de-al treilea ochi) în timp ce la mamifere pacemakerul central este localizat la nivelul nucleului suprachiasmatic (SNC).

Ritmul circadian dispune de două vârfuri separate: vârful major sau componenta S (seara) situat în prima parte a nopții și componenta D (dimineața) care apare în zori.

Componenta D controlează perioada activă, în timp ce componenta S cuplată la perioada de tranziție lumină-întuneric reduce organismul la starea de sincronicitate. Una din caracteristicile ritmicității ceasornicului circadian uman, ușor de urmărit, este temperatura corpului legată de ciclul somn-veghe. Aceasta începe să scadă cu câteva ore înainte de adormire pentru a ajunge la punctul cel mai scăzut aproape de sfârșitul somnului. În perioada cu cea mai scăzută temperatură a corpului profunzimea somnului este maximă, iar sarea de alertă minimă.

În timpul perioadei de trezire temperatura începe să crească din nou, pentru a ajunge la cel mai ridicat nivel după amiază. Acest ritm persistă și în timpul privării de somn, dar cu amplitudine mai redusă.

Un alt constituent al ritmului circadian este impulsul către somn, manifestat printr-o stare de oboseală sau de vioiciune.

În general, somnul are două componente: una circadiană și una homeostatică, dependentă de durata timpului individual de trezire. Când un subiect este privat de somn trei până la zece zile, durata somnului din prima noapte de recuperare nu depășește 11-16 ore. Prin urmare, la om există cel puțin 2 pacemakeri circadieni centrali: unul pentru somn/veghe și altul pentru temperatură.

La nivelul nucleului suprachiasmatic din hipotalamus a fost identificat numai un pacemaker circadian central. Ciclul somn/veghe nu reprezintă markerul precis al ceasornicului circadian (Toates, 1992), deoarece în situații normale, ritmul temperaturii corpului se află în strânsă relație cu ciclul somn/veghe. În condiții de izolare față de factorii externi, ritmurile temperaturii și ale ciclului somn/veghe pot prezenta o desincronizare internă, în care durata somnului devine dependentă de debutul relativ al ritmului temperaturii corpului. În cazul în care debutul coincide cu punctul minim al ritmului temperaturii, acesta este scurtat. Când o persoană este complet izolată de lumina și temperatura diurnă, de factorii sociali și de mijloacele de măsurare a timpului, ritmul său somn/veghe trece de la ciclul strict de 24 de ore la unul de aproximativ 25 de ore. Această abatere manifestată prin prelungirea ritmului endogen somn/veghe este întâlnită la trei pătrimi din populația adultă. La restul indivizilor aflați în stare de izolare, perioada dintre trezirile succesive este mai lungă. Faptul în sine ilustrează existența mai multor ceasuri biologice care reglează ritmul circadian al corpului.

**Perturbarea ritmului circadian.** La om există tulburări fiziologice și comportamentale legate de dereglarea somnului prin activitatea în ture. Unele medicamente utilizate în tratamentul psihiatric modifică și ele perioada circadiană a ritmului somn/veghe. De asemenea, și în timpul călătoriilor intercontinentale cu avioanele cu reacție apar desincronizări interne și noi cicluri zi-noapte.

Alte tulburări de somn sunt legate de programarea inadecvată a somnului de către ceasornicul circadian, mecanismele de generare a acestuia fiind intacte. Adesea medicii ignoră problema ceasornicului biologic la persoanele care se plâng



de insomnie. În acest sens au fost descrise două sindroame de tulburare a somnului: 1) sindromul somnului cu fază tardivă (delayed sleep phase syndrome - DSPS) și sindromul somnului cu fază în avans (advanced sleep phase syndrome - ASPS).

În cadrul DSPS ceasornicul individual acționează mai tardiv decât cel social sau obișnuit acceptat. Persoanele cu un astfel de sindrom nu adorm decât în jurul orei 3 și au dificultăți la trezire înainte de ora 11. Persoanele cu DSPS suferă din cauza normelor sociale care îi obligă să se scoale devreme pentru a ajunge la serviciu. Ele sunt avantajate numai în weekends.

În forma ASPS ceasornicul individual acționează mai devreme decât în mod obișnuit. Asemenea indivizi adorm seara în jurul orei 20 și se trezesc foarte devreme în jurul orei 4. Situația este mai puțin crucială pentru aceștia datorită faptului că numai viața lor socială de seară se scurtează.

Situațiile ceasornice de mai sus au fost diagnosticate greșit sub termenul de insomnie. Deosebirea care trebuie făcută între aceste două forme are implicații terapeutice importante deoarece nici DSPS și nici ASPS nu răspund la medicația farmacologică convențională și nici la intervențiile psihologice (tehnici hipnotice și relaxante), prin faptul că ele reprezintă probleme de ceasornic și nu de tulburări ale somnului.

Fazele anormale ale ciclului somn/veghe din DSPS și ASPS au două origini. Prima se referă la curba răspunsului fazic al acestor indivizi, care este anormal de asimetrică. Perioada ceasornicului din DSPS poate fi anormal de lungă, ajungând până la 27 de ore. În ASPS perioada ceasornicului este mai scurtă decât normal, ajungând în jurul a 23 de ore. O alternativă nefarmacologică de tratare a unor astfel de tulburări o reprezintă modificarea ritmului biologic prin manipularea ciclului lumină/întuneric.

Astfel, cei care suferă de DSPS trebuie expuși dimineața la o lumină strălucitoare, iar seara să evite lumina. Cei care suferă de ASPS trebuie expuși noaptea la o lumină strălucitoare, iar dimineața să evite lumina.

Când nu este soare, trebuie să recurgă la o lumină artificială cu o intensitate de 2500 luxi. Iluminatul interior de numai 200-500 de luxi are un efect minim asupra ceasornicului uman. Prin urmare, aceste tulburări pot fi tratate cu ajutorul unei lumini strălucitoare (Toates, 1992).

## Localizarea ceasornicului circadian

**Nucleul suprachiasmatic (NSC)** Hipotalamusul este constituit dintr-o mică arie cerebrală a cărei fiziologie extrem de complexă, este implicată în reglarea multor funcții ale organismului (foamei, setei, temperaturii, reproducerii, agresiunii, etc.). Nucleul suprachiasmatic are un rol central în generarea ritmurilor.

Transplantarea țesutului hipotalamic embrionar în planșeul ventriculului trei al șobolanilor adulți cu leziuni de NSC a dus la reluarea ritmului de ingerare a apei după aproximativ opt săptămâni. Experiența a demonstrat că țesutul neural respectiv este

dotat cu un sistem de autoreglare a ritmului circadian. Pentru a accepta afirmația conform căreia NSC este pacemaker-ul circadian al mamiferelor, a trebuit demonstrat că acestea are un input senzorial din mediul înconjurător, care îl activează.

Când, experimental, s-a secționat caudal de chiasma optică tractul optic primar și sistemul optim accesoriu, lumina continua să antreneze ciclul somn/veghe. Acest rezultat neașteptat a dus la descoperirea unei căi retinohipotalamice (retinosuprachiasmatică) directe, care transmite informația luminoasă percepută de ochi la un pacemaker circadian intern.

Acum se știe că, cel puțin la animale, ceasornicul biologic primar pentru ciclul somn/veghe este localizat în nucleul hipotalamic suprachiasmatic, ce primește inputuri directe de la fibrele retiniene.

În anul 1972, Moore și Eichler au demonstrat că distrucția nucleului suprachiasmatic anulează ritmul provocat de lumină și disrupe diferite componente endogene și hormonale ale ritmului circadian, în care este inclus și ritmul somn/veghe. Prin urmare, nucleul suprachiasmatic găzduiește oscilatorul circadian, iar calea retinohipotamică cupleză acest sistem circadian al mamiferelor la ciclul extern de lumină/întuneric. Cu toate acestea, activitatea metabolică a nucleului suprachiasmatic nu este determinată numai de prezența luminii, ci și de alte ritmuri endogene (Kelly, 1991).

Pentru determinarea căii retinosuprachiasmatică s-au efectuat studii neuroanatomice și de urmărire autoradiografică a aminoacizilor radiomarcați injectați în celulele ganglionului retinal. În acest mod s-a descoperit tractul retinohipotamic (TRH), ce leagă direct retina de NSC. Proiecția TRH este bilaterală, deoarece conectează ambii nuclei suprachiasmatici. Sistemul fotoreceptor circadian este specializat în detectarea intensității luminoase.

După această clarificare au fost efectuate studii electrofiziologice, pentru a constata existența unor căi output de transmitere a ritmurilor de la nivelul NSC în alte părți ale creierului. Astfel, înregistrările din neuronii nucleului caudat și din hipotalamus efectuate după izolarea hipotalamusului de restul creierului au demonstrat că ritmul hipotalamic de 24 de ore persistă, în timp ce ritmul nucleului caudat dispare. Proiecțiile eferente din NSC au fost cartate cu ajutorul metodei autoradiografice. Majoritatea detaliilor obținute prin această tehnică s-au limitat la hipotalamus. O cale eferentă interesantă, dar cu circuit complicat, a fost aceea dintre NSC și corpul pineal.

**Activitatea neurală a NSC.** Prin înregistrări neuronale făcute la șobolan, cercetătorii au demonstrat că NSC are un nivel înalt de activitate în timpul zilei și un nivel scăzut de activitate în timpul nopții. Aceleași înregistrări neuronale efectuate pe preparatele de NSC au relevat și persistența ritmului circadian, deși preparatele respective nu prezentau nici un input neuronal. Totuși, această insulă hipotalamică ar putea avea inputuri ritmice de natură hormonală.

Studii independente de inputurile neurale și hormonale au fost făcute în culturi. Secțiunile coronale ale NSC pot fi menținute funcțional doar câteva ore, timp în care pot fi făcute înregistrări celulare singulare (Stephan și Zucker, 1972). Deoarece nu este posibilă menținerea activității unui neuron timp de 24 de ore, s-a



recurs la prelevarea acestora atât în timpul zilei, cât și în timpul nopții. Astfel, la neuronii prelevați în timpul fazei luminoase s-au constatat descărcări înalte, iar la cei prelevați în timpul nopții descărcări joase, ceea ce demonstrează că neuronii NSC au o ritmicitate intrinsecă în decursul celor 24 de ore (Toates, 1992).

Stimularea electrică a NSC la șobolan și hamster a produs modificarea fazei de alimentare și a ritmului de alergare pe roată. Implantarea permanentă de electrozi în NSC a permis monitorizarea activității ritmice și obținerea prin stimulări electrice a unor rezultate dependente de faza ritmului circadian în care au fost făcute. Faptul a sugerat că stimularea mimează la nivel neural efectul luminii (Rosenwasser, 1988).

**Activitatea metabolică a NSC.** Activitatea neuronilor cerebrali este aproape în întregime dependentă de glucoză, deoarece aceasta furnizează energia necesară funcționării lor. Ariile cerebrale active utilizează o cantitate mai mare de glucoză, fapt constatat în timpul administrării glucozei marcate radioactiv (Schwartz și Gainer, 1977). Cu ajutorul autoradiografiei s-a demonstrat că SNC este metabolic activ în timpul orelor de lumină din ciclul lumină/întuneric, adică atunci când animalul este activ. Activitatea cea mai intensă a fost constatată atunci când lumina de laborator a fost aprinsă în mijlocul perioadei întunecoase. Prin urmare, NSC răspunde prompt la lumină, fapt neîntâlnit în alte arii cerebrale.

Ritmicitatea metabolică a NSC nu reflectă exact inputul perioadei lumină-întuneric din mediul înconjurător, ci apare ca rezultat al unei ritmicități metabolice endogene a acestuia (Hastings și colab., 1991).

Autoradiografic s-a demonstrat că în perioada prenatală tardivă și în cea postnatală precoce se dezvoltă la nivelul NSC al puiului de șobolan un ritm propriu. Acest ritm apare și atunci când șobolanul este ținut constant în întuneric. Interesant este faptul că ritmul respectiv apare înaintea dezvoltării conexiunilor sinaptice, precum și a celor input și output ale NSC (Rusak și colab., 1990).

Datele de mai sus arată că pacemaker-ul cerebral al ritmului circadian este localizat la nivelul NSC. Lezarea bilaterală a NSC elimină ritmul circadian sau inversează ritmul somn/veghe. Acest fapt a fost constatat la bolnavii operați pentru tumori hipofizare mari, craniofaringioame și infundibuloame. La șobolanii cu leziuni ale NSC, ritmicitatea poate fi restabilită cu ajutorul implantelor de țesut suprachiasmatic.

Observațiile cu privire la activitatea neuronilor NSC au scos în evidență faptul că aceștia au o activitate înaltă în faza luminoasă și o activitate joasă în faza întunecoasă. Ritmul metabolic al NSC este endogen. Deși NSC este formațiunea cea mai importantă de dirijare a ritmicității, trebuie menționat faptul că și glanda pineală posedă un rol asemănător.

## Genele și proteinele care dirijează ceasul biologic

Pentru explicarea mecanismului circadian au fost făcute studii comparative pe drosofilă și mamifere.

Astfel, s-a constatat că expresia timing-ului circadian din neuronii individuali nu reprezintă proprietatea emergentă a unui circuit sau sistem neuronal ci este caracteristica integrală a biochimismului cerebral.

Prin analiza paternului circadian de la nimfele de drosofila au fost identificate numeroase gene care encodează elementele esențiale ale ceasului (Hall, 1990; Rosato și colab., 1997).

Mutațiile acestor gene pot accelera sau încetini ceasul, dând muște la zile cu 20 sau 28 de ore. Alte mutații pot distruge complet abilitatea muștei de a fi ritmică.

Proteinele encodeate de aceste gene fac parte dintr-o buclă feedback negativă care pune în mișcare oscilațiile sistemului timing (Reppert, 1998).

Proteinele perioadei (*per*) și cele fără (*tim*=timeless) se mișcă în jurul celulei astfel încât abundența și localizarea lor definesc ciclul circadian (Hastings, 1998).

Genele care encodează aceste proteine (*per* și *tim*) sunt active în partea timpurie a nopții producând mARN. Mai târziu, în noapte, proteinele încep să se acumuleze. Inițial proteinele, în special *per*, sunt degradate în citoplasmă. Totuși, proteinele *per* au un loc de legătură specializat care le permite să se asocieze cu *tim* ca heterodimer. Acești dimeri sunt mult mai rezistenți la degradare și în actul asocierii, iar suprafețele proteinei care conțin în citoplasmă *per* sunt obscurizate dând posibilitate dimerilor de a intra în nucleu. Acesta este un eveniment cheie dar proteinele ceas au și proprietatea de a controla activitatea diferitelor gene. Expresia genelor *per* și *tim* este nepresată de către produșii proteici proprii dimerizați, care închid bucla feedback.

Ca rezultat, odată cu ajungerea dimerilor în nucleu genele ceas sunt oprite ne mai sintetizând noi ceasuri mARN sau proteine. După un timp proteinele existente în nucleu încep să se degradeze iar genele sunt eliberate de inhibiție pentru a deveni din nou active și a reentra în ciclu. Intervalul dintre activarea și oprirea genei durează aproximativ 24 de ore și este autosusținut (Hastings, 1998).

Prin urmare, în perioada precoce a ciclului expresia *per* și *tim* este stimulată de factorul Bmal și ceas.

Odată cu creșterea concentrației citoplasmice a *per* mARN se produce proteina *per*, care inițial este instabilă și degradată. În perioada mijlocie a ciclului, crește concentrația proteinelor *per* și *tim* și se formează heterodimeri care intră în nucleu unde suprimă expresia genelor *per* și *tim*. În perioada tardivă a ciclului, transcripția genelor este oprită. Cu timpul, proteinele *per* și *Tim* sunt inactivate, iar fără mARN nu se poate produce nici o proteină nouă.

În consecință, ceasul și Bmal exercită o acțiune stimulatorie astfel încât după 24 de ore ciclul reîncepe. Integritatea și viteza oscilațiilor ceasului depind de numeroase evenimente intracelulare cum ar fi contextul ceasului biochimic.

### Rolul glandei pineale în determinarea ritmurilor

Hormonul melatonin este sintetizat din serotonina (5-HT) glandei pineale. La vertebrate, melatonina apare în timpul fazei întunecoase a ciclului lumină/întuneric, indiferent dacă animalul are sau nu o activitate diurnă sau nocturnă.



La om și la multe păsări eliberarea nocturnă a melatoninei apare în timpul odihnei și somnului, în timp ce la rozătoare apare în timpul activității. În timpul orelor de zi, nivelul metabolismului este extrem de scăzut, fiind aproape nedetectabil. La om, nivelul acestui hormon începe să crească seara târziu, ajunge la cifre maxime între ora 24 și 2, după care începe să scadă în a doua parte a nopții, astfel încât în zori ajunge la nivelul din timpul zilei luminoase.

Ritmul melatoninei nu este determinat exogen de ciclul lumină/întuneric, ci de ritmurile endogene, fapt datorită căruia se perpetuează și în condiții de întuneric continuu. Cu toate acestea, ritmul este extrem de sensibil la lumină. Un plus luminos de 0,4 luxi (echivalent cu lumina lunii) suprimă eliberarea melatoninei la anumite rozătoare. În condiții de lumină continuă ritmicitatea melatoninei scade putând sugera o dependență exogenă, dar nu este așa. Expunerea omului la lumină foarte puternică în timpul serii blochează creșterea melatoninei.

Este interesantă și relația dintre ritmul melatoninei pineale și cel al NSC. Faza de activitate a pinealei se află la  $180^\circ$  față de cea a NSC, deoarece acesta devine mai activ în timpul luminii.

Lezarea NSC duce la pierderea producției și eliberării melatoninei pineale. Astfel, ritmicitatea melatoninică este dirijată direct de către NSC. Datorită faptului că NSC este un generator endogen al ritmului melatoninei, nivelul plasmatic al acesteia reprezintă indicatorul direct al funcției NSC. Cu alte cuvinte, deși NSC se află la distanță față de glanda pineală, producția melatoninei și eliberarea sa indică gradul de funcționalitate al acestuia.

La majoritatea speciilor testate, eliberarea melatoninei rămâne insensibilă la stres, somn, interacțiune cu alți hormoni.

La om, nivelul melatoninei este un indicator valoros al ceasornicului circadian.

Fotoperiodicitatea se referă la funcțiile biologice sensibile, la raportul lumină-întuneric din cadrul celor 24 ore. Zilele scurte din timpul toamnei determină la unele specii activitatea reproductivă. Pentru animalele domestice, reglarea reproducerii, creșterii în greutate și creșterii lânii au aplicații comerciale. Modificările sezoniere pot ameliora necesitățile comerciale, dar acestea nu se limitează la ritmul sezonier natural.

În laborator, durata fotoperiodicității zilnice poate fi ușor manipulată. Astfel, scurtarea zilei hamsterilor aurii duce la regresia gonadelor, în timp ce prelungirea zilelor (perioadei luminoase) duce la regenerarea gonadică. Totuși, degenerarea gonadică indusă de scurtarea zilelor nu rămâne permanentă.

Pinealectomia împiedică regresia gonadală determinată de scurtarea zilelor, fapt ce demonstrează că fotoperiodicitatea reglează funcția gonadală și că efectul fotosensibil este mediat de glanda pineală. Regresia gonadală din timpul iernii împiedică înmulțirea și nașterea într-o perioadă de timp a anului inadecvată pentru supraviețuire. Odată cu apropierea primăverii gonadele devin insensibile la influența restrictivă a glandei pineale. Ele încep să regenereze, așa încât, la venirea primăverii, când hamsterii ies din hibernare, funcția lor sexuală poate intra imediat în activitate. Deoarece perioada lor de gestație este numai de 21 de zile, nașterea are loc într-o perioadă de timp a anului optimă pentru supraviețuire. Prin urmare,

corpul pineal acționează ca un organ principal pentru sincronizarea maturizării, fecundării, gestației, nașterii și hrănirii puilor. La alte specii la care gestația este mai lungă, cum ar fi capra, semnalul de fotoperiodicitate pentru maturare este reprezentat de zilele scurte și nu de cele lungi.

Maturarea caprei se face toamna, pentru ca puii să poată fi născuți primăvara. Din datele prezentate reiese clar că melatonina este un timing hormone și un hormon al fertilității.

Ca și ritmurile circadiene, ritmurile anuale au o funcție anticipatoare pentru evenimentele fiziologice, ce trebuie puse în acțiune înainte ca modificările mediului înconjurător să apară. Astfel, prepararea pentru hibernare sau migrație trebuie să aibă loc înaintea debutului iernii.

În natură, durata zilei este cel mai stabil indicator pentru schimbarea unui sezon anual.

Stimulul care ia naștere în pineală și acționează ca semnal al sistemului reproductiv este melatonina. Administrarea continuă de melatonină duce la realizarea unei pinealectomii funcționale. Organul țintă nu poate citi semnalul circadian și răspunde ca și cum pineala ar fi extirpată.

La animalele nesezoniere și la om, această funcție a pinealei rămâne de clarificat. În fiecare seară, vara, când este timpul de culcare și mai devreme în timpul iernii, glanda pineală începe să elibereze melatonină în curentul sanguin. Ce face această melatonină? Răspunsul nu este cunoscut, dar sunt precizate câteva date. De exemplu, pineala nu este un ceasornic circadian la mamifere, așa cum este la vrăbii sau la unele specii de șopârle.

Pinealectomia șobolanilor, hamsterilor și a altor animale de laborator nu dă nici o disrupție a ritmului locomotor circadian. De aici rezultă că pineala nu pare să fie implicată în generarea ritmului circadian al mamiferelor. Totuși, ea ar putea fi implicată în sincronizarea acestui ritm. Cea mai importantă caracteristică a semnalului melatonin este reprezentată de ritmicitatea sa crescută în timpul nopții și scăzută în timpul zilei. Ritmul acesteia este determinat de acțiunea directă a NSC.

Unii oameni de știință au sugerat că ritmul melatoninei determinat de NSC reprezintă semnalul circadian hormonal major, care ajunge la toate celulele și țesuturile organismului. Tot ce poate fi spus în prezent este că după pinealectomie apar multe modificări ale sistemului imun, ale presiunii sanguine și modificări ale proceselor de îmbătrânire.

Totuși, nici una din acestea nu este crucială pentru funcționarea normală a organismului. Descoperirea funcției melatoninei la om ar reprezenta ultima mare frontieră în cercetarea funcționării hormonale, deoarece celelalte glande și sisteme hormonale sunt bine cunoscute.

În concluzie, hormonul major produs de glanda pineală, melatonina, este eliberat în timpul fazei întunecoase a ciclului lumină-întuneric.

Nivelul plasmatic al melatoninei este un bun indicator al activității NSC. Melatonina are un „timing role” în comportamentul reproductiv al speciilor sezoniere.



## Biochimia ceasornicului biologic

În NSC se găsesc neurotransmițători, neurotransmițători prezumtivi și peptide (acetilcolină, noradrenalină și dopamină). Acești agenți agonisti și antagonisti ar putea fi utilizați pentru modificarea fazei ceasornicului fie prin afectarea nucleului neuronilor, fie indirect prin fenomenul de stimulare farmacologică. Aici, cercetătorii se confruntă cu două mari probleme. Prima se referă la faptul că cele mai multe peptide și cei mai mulți neurotransmițători din NSC au o distribuție omniprezentă la nivelul întregului sistem nervos central. Aceste substanțe sunt implicate în controlul multor paternuri comportamentale, precum și în desfășurarea a numeroase procese fiziologice și endocrinologice.

Dar, orice medicament destinat modificării ceasornicului trebuie să acționeze selectiv asupra NSC și să lase neatinse toate celelalte sisteme transmițătoare și peptidice din creier. În plus, medicamentul administrat oral nu trebuie să fie distrus de sucul gastric și nu trebuie să stimuleze nici sistemul nervos periferic și nici alte organe.

A doua are în vedere faptul că în timpul introducerii de către lumină a modificării fazei, multe sisteme neurotransmițătoare acționează sinergic, iar interacțiunea sinergică respectivă este destul de complexă.

Apoi, administrarea unui singur neurotransmițător sau a unei singure peptide are efect minim asupra outputului NSC.

În ciuda acestor bariere, au fost încercați diverși compuși cu efecte asupra ritmicității circadiene.

Primele studii au sugerat că acetilcolina ar putea fi implicată în activitatea căilor aferente ale NSC, dar nici acetilcolina și nici enzima de sintetizare a acesteia nu au fost găsite în nervii sau tracturile optice. Acetilcolina este degradată rapid, astfel încât pentru mimarea acțiunii acesteia se utilizează o substanță sintetică analogă numită carbachol. Injectarea carbacholului în ventriculii cerebrali ai șoarecilor duce la apariția unei curbe de răspuns fazic similară cu cea obținută prin pulsațiile luminoase scurte.

Omniprezența acetilcolinei în sistemul nervos central face puțin probabilă utilizarea unei pilule bazate pe principiul colinergic.

Studiile electrofiziologice și comportamentale arată că neurotransmițătorul primar al tractului retinohipotalamic este un aminoacid cu efect excitator. Administrarea unui medicament care blochează unul din receptorii glutamatului blochează și modificarea fazei indusă de lumina pulsată.

La nivelul sistemului nervos central și în nucleul suprachiasmatic există trei substanțe cu concentrație mărită: serotonina, GABA (neurotransmițători) și arginin-vasopresina (AVP) (neuropeptidă).

Experiențele care au dus la eliminarea aproape completă a serotoninei și AVP din sistemul nervos central nu au reușit să înlăture ritmicitatea comportamentului circadian. În schimb, s-a dovedit că neurotransmițătorul GABA joacă un rol important în funcționarea NSC.

Drogurile care mimează acțiunea GABA sunt valproatul și benzodiazepinele. Valproatul afectează perioada circadiană la anumite specii.

Injectarea benzodiazepinelor, droguri care măresc efectul GABA, facilitează perpetuarea ritmului circadian după modificarea fazei lumină-întuneric.

Din datele experimentale de mai sus s-a tras concluzia că ceasornicul circadian este mediat sau modulat, cel puțin în parte, de către neurotransmițătorul GABA.

Triazolanul, benzodiazepină cu acțiune de durată scurtă, acționează și el asupra pacemaker-ului circadian. La om, triazolanul nu ameliorează somnul după modificarea fazei din programul somn/veghe, atunci când se zboară cu avionul spre zone est-vest sau vest-est pe timp de 8 ore. La șobolani și oameni, triazolanul este un sedativ, iar la hamsteri este un drog activ.

În privința melatoninei s-a constatat că la unele specii receptorii acestui hormon sunt mult concentrați la nivelul nucleului suprachiasmatic. Datorită acestui fapt, NSC apare ca un important factor feedback în eliberarea melatoninei în timpul nopții.

Modificarea fazei ritmului circadian se produce numai în cazul în care debutul activității coincide cu timpul zilei în care este injectată melatonina. După 15 zile de astfel de injectări repetate, se produce modificarea fazei ritmului circadian. Modificarea se menține atât timp cât durează efectul injecției. Există deci o fereastră sau poartă foarte îngustă de sensibilitate la melatonina exogenă.

În concluzie, identificarea transmițătorilor de la nivelul NSC ne-ar oferi posibilitatea găsirii medicamentelor utile pentru schimbarea fazei ceasornicului circadian al organismului.

Acțiunea agonistă sau antagonistă asupra acestor transmițători ar ridica enorme probleme, în cazul în care un anume transmițător s-ar afla și în afara NSC. Pe de altă parte, s-ar putea ca aceiași transmițători să aibă funcții multiple în diverse regiuni cerebrale.

Modificarea ritmului prin injectarea unor substanțe chimice și prin expunerea la lumină a adus unele lămuriri. Astfel, dacă injectarea unor substanțe chimice mimează expunerea la lumină, faptul respectiv sugerează că ele modifică faza prin intermediul căii ce leagă ochiul de NSC.

În controlarea comportamentului intervine interacțiunea factorilor interni cu cei externi. Astfel, procesele timing ce stau la baza ritmului circadian al comportamentului, deși sunt endogene, ele se află și sub influența ritmurilor externe.

În interiorul ceasornicului biologic există o cutie neagră, care aparține sistemului nervos, iar utilizarea leziunilor și injecțiilor cu substanțe chimice în scopul modificării acesteia este plină de dificultăți.

## Reglarea somnului

Reglarea somnului reclamă participarea obligatorie a hipotalamusului.

Somnul ar fi o rezultată a depresiunii activității sistemului reticulat activator ascendent, sistem de alertă și de menținere a stării de veghe.



Unii cercetători se referă la zona de la baza creierului situată rostral de chiasma optică (inclusiv probabil aria preoptică și cea supraoptică) ca la o arie sincronizatoare importantă a prozencefalului, deoarece stimularea bilaterală a acesteia la o pisică cu comportament alert provoacă somnul.

Hess (1924), folosind metoda excitației punctiforme, a arătat că în hipotalmus ar exista o zonă dinamogenă (medială și posterioară) și o zonă trofogenă (antero-laterală). În cazul excitării celei de-a doua zone, autorul a putut induce somnul la animalele de experiență. De fapt, acest somn sau o stare asemănătoare pot fi produse de stimulări chimice și electrice în variate structuri ale trunchiului cerebral, ceea ce dovedește că nu există un centru al somnului. Totuși, importanța funcției hipotalamice în reglarea somnului, în emoții și în unele stări psihocomportamentale este de necontestat.

Teoria potrivit căreia somnul este un proces activ a fost din ce în ce mai mult acceptată. Astfel, somnul sau un comportament de somn a putut fi indus de stimularea a numeroase arii corticale, a elementelor sistemului limbic, a nucleilor talamici intralaminari, a ariilor preoptică și supraoptică, a capului nucleului caudat, a hipocampului, a complexului amigdaloid, precum și a variatelor regiuni ale trunchiului cerebral.

Ciclul somn/veghe are ca substrat sistemul reticulat activator și inhibitor ascendent, nucleul suprachiasmatic și pineala. Formațiunea reticulată pontină și nucleii rafeului constituie centrul inferior legat de producerea somnului paradoxal, în timp ce structurile hipnogene rostrale aflate sub influența celor două sisteme reticulate ascendente (activator și inhibitor) sunt legate de somnul lent sau sincronizat (vezi capitolul cu privire la somn).

White (1940) și Kaufman (1970) au arătat că stimularea hipotalamusului anterior produce la om și la animale un comportament ireproșabil și că excitația hipotalamusului posterior la animale provoacă trezirea. Invers, distrucția hipotalamusului anterior la animale induce insomnia, în timp ce distrucția hipotalamusului posterior la animale și la om dă somnolență, stupoarea și coma. Datorită acestui fapt, Ranson (1939) a considerat hipotalamusul posterior centrul trezirii, iar ulterior Nauta (1940) a postulat că hipotalamusul anterior este centrul somnului. Mai târziu, odată cu elucidarea influenței sistemului reticulat ascendent, somnul a fost privit ca o formă a unei necesități fiziologice dată de participarea activă a sistemului reticulat inhibitor din punte și hipotalamus.

Trezirea generală dată de hipotalamusul posterior și de tegmentul mezencefalic cere un nivel mai scăzut de activare a sistemului reticulat activator ascendent decât este necesar pentru a menține o activitate mintală pe deplin conștientă.

Coma apare ca rezultat al pierderii activității sistemului reticulat activator sau al întreruperii conexiunilor acestuia cu telencefalul, nemaiputând determina activitatea celorlalte circuite neuronale sau a cortexului și deci, nici trezirea, chiar după aplicarea unor stimuli puternici.

Distrucția hipotalamusului posterior, cu păstrarea formațiunii mezencefalice adiacente, dă hipersomnolență și sincronizare EEG, ca în stările de somn și comă inițială.

Observația conform căreia stimularea precisă a hipotalamusului posterior produce desincronizare EEG și trezire a fost reprodusă la om de către Sano și colab. (1970). Leziunile mici stereotaxice ale hipotalamusului posterior produc la om o hipersomnolență temporară (Sano și colab., 1970).

Von Economo (1930) a fost primul care a făcut asociația dintre somnolență, leziunile hipotalamice posterioare și mezencefalice rostrale în timpul studiilor sale asupra encefalitei letargice.

Până la descoperirea neurotransmițătorilor se considera că ciclul somn/veghe normal este determinat de centrul inhibitor din hipotalamusul anterior și de centrul excitator al trezirii din hipotalamusul posterior.

Acești centri sunt conectați prin intermediul sistemului reticulat activator și inhibitor cu alți nuclei asemănători din trunchiul cerebral, de a căror bună funcționare depinde normalitatea ciclului somn/veghe.

La animale, prin decerebrare mediocoliculară, tulburarea ciclului somn/veghe durează mai multe săptămâni (Genovesi și colab., 1954).

Ciclul somn/veghe cunoaște o normalizare mai rapidă după leziunile hipotalamusului posterior, decât după leziunile mezencefalice (Plum și colab., 1978). Lezarea hipotalamusului anterior produce trezire prelungită și hiperkinezie, probabil legate de rămânerea în funcțiune numai a sistemului reticulat activator.

Leziunile hipotalamice, care duc la modificarea ritmului somn/veghe sau la inversarea lui, par a fi mai întinse și slab localizate.

## Somnul

Există două concepții cu privire la somn. Concepția veche, aseamănă somnul cu moartea, prin faptul că în acest timp funcțiile mintale dispar. Hesiod consideră somnul ca un „frate al morții“. Cealaltă susține că somnul și starea conștientă reprezintă forme speciale ale activității mintale.

Pièron (1913) afirmă că somnul are trei caracteristici: 1 este periodic necesar; 2) are un ritm independent de condițiile externe; 3) în timpul acestuia se produce o întrerupere completă a funcțiilor senzoriale și motorii care leagă creierul de mediul înconjurător.

Astăzi se știe precis că cea de-a treia caracteristică nu este corectă, deoarece izolarea de mediul înconjurător este departe de a fi completă chiar în stadiile cele mai profunde ale somnului. Astfel, impulsurile senzoriale periferice penetrează ariile corticale în timpul somnului, iar comenzile corticale motorii pot ajunge la neuronii motori alfa din măduva spinării în timpul unor stadii specifice ale acestuia, deși outputul neuronilor motori este inhibat în mod activ (Kelly, 1991).

Cu toate acestea definiția lui Pièron este interesantă prin faptul că ne atrage atenția asupra ciclului somn/veghe.

În timpul vieții, somnul are o anumită periodicitate: la nou născut există un ciclu somn/veghe polifazic, la copil apare un patern bifazic caracterizat prin somnul de după amiază, iar la adult ciclul circadian este monofazic. Până în anul 1950,



somnul era considerat ca un fenomen pasiv. Între 1950 și 1960 cercetările au revoluționat teoriile cu privire la somn prin recunoașterea caracterului activ al acestuia și a succesiunilor sale ciclice controlate de sisteme neurochimice strâns corelate.

În 1913, Piéron sugera că activitatea fizică și mintală din timpul zilei produce substanțe chimice care induc somnul și că, în timpul somnului, acești produși chimici sunt distruși. Pentru a demonstra acest fapt, autorul a extras lichid cefalorahidian de la câinii ținuti treji câteva zile, pe care l-a injectat apoi în sistemul ventricular al altor câini, obținând adormirea pentru o perioadă de 2-6 ore.

În ultimii 20 de ani, cu ajutorul noilor tehnici de biochimie, s-a reușit să se descopere și să se caracterizeze mulți factori care induc somnul.

Printre aceștia includem: neuramil peptidele, lipopolizaharidele, prostaglandinele, interleukina-1, interleukina  $\alpha_2$ , factorul necrotic tumoral, peptidele delta inductoare de somn, peptidele vasoactive intestinale și serotonina. În afara accentuării somnului, aceste substanțe mai acționează și asupra temperaturii corpului, precum și asupra răspunsului imun (Kreuger și Karnofsky, 1987). Datorită acestui fapt, a fost emisă teoria conform căreia o importantă funcție auxiliară a somnului este aceea de optimizare a proceselor antiinfecțioase.

Totuși, în potențarea somnului, prezintă importanță mai mare două peptide, una izolată din sânge și alta izolată din lichidul cefalorahidian. Astfel, în anul 1977, Schoenenberger și Monnier au izolat din sângele iepurilor, la care s-a indus somnul prin stimulare electrică talamică, o mono-peptidă. Deoarece administrarea acestei peptide (Trp-Ala-Gly-Gly-Asp-Ala-Ser-Gly-Glu) în ventriculii cerebrali a mărit frecvența undelor EEG lente de tipul delta caracteristice somnului și a redus activitatea locomotorie, ea a fost numită peptidă inductoare de somn delta. Majoritatea cercetătorilor au demonstrat că această peptidă ușor hipnotică traversează lent și cu dificultate bariera hemato-encefalică. Cealaltă peptidă a putut fi concentrată de către Pappenheimer și colab. (1975) prin filtrarea lichidului cerebrospinal prelevat de la caprele private de somn.

Acest factor, cu greutatea moleculară mai mică de 500 mărește durata somnului cu unde lente (nu a celui cu mișcări oculare - REM) și diminuează activitatea locomotorie a subiecților care o primesc.

Analizele chimice au arătat că factorul respectiv este un peptidoglycan, care conține un rest de acid muramic. Fiecare muramil peptidă cu proprietăți somnogene s-a dovedit a fi pirogenică și imunoactivă.

Muramil peptidele acționează asupra somnului prin intermediul sistemului serotoninergic. Astfel, paraclorofenilalanina care blochează sinteza serotoninei inhibă somnul. Acest fapt este contracaraat complet de muramil peptide. Există date care demonstrează că serotonina și muramil peptidele formează legături atât pe macrofage, cât și în creier. Această relație agonistă dintre neurotransmițător și un anume imunomodulator prezintă interes prin faptul că afinitatea pentru receptorii serotoninici este marcat alterată în cazul privării somnului.

Ipoteza anterioară, cu privire la rolul sistemului reticular ascendent în producerea somnului, face parte din conceptul de somn pasiv.

Indiferent de factorul care provoacă somnul (sanguin, cerebral sau din LCR), cert este că debutul acestuia este indus în mod activ.

În anul 1936, Bremer a demonstrat pe cale neurofiziologică că somnul este o funcție cerebrală pasivă. Efectuând preparate de creier izolat (secționarea mezencefalului între coliculii superiori și inferiori) Bremer a observat apariția unor trasee EEG tipice de somn.

Pe preparatele de encefal izolat (transecțiune efectuată între bulb și măduva spinării) autorul a înregistrat la nivelul telencefalului un ciclu somn/veghe normal. Ca urmare a acestor experiențe, Bremer a tras concluzia că telencefalul izolat din preparatul de creier izolat doarme în permanență din cauza insuficienței inputurilor senzoriale de trezire, în timp ce encefalul izolat păstrează inputurile senzoriale ale nervilor cranieni, în particular a trigemenului și acusticovestibularului și prin urmare și ciclul somn/veghe normal. Pentru susținerea acestei ipoteze, Bremer a secționat nervii senzoriali ai trunchiului cerebral din preparatul de encefal izolat, după care a obținut o stare continuă de somn a telencefalului, similară celei din creierul izolat.

Bremer a afirmat că stimulii care trezesc în mod normal telencefalul sunt transmiși rostral prin căile senzoriale normale.

În anul 1949, Moruzzi și Magoun au efectuat leziuni parțiale în mezencefalul pisicilor, în urma cărora au constatat că leziunile tegmentale laterale, care întrerupeau căile senzoriale ascendente directe, nu modificau semnificativ balanța dintre somn și veghe. În schimb, leziunile mediane, care afectau proiecțiile rostrale ale formației reticulate, duceau la apariția unui comportament stuporos și a unui traseu EEG cu unde delta caracteristice somnului. Astfel, autorii au ajuns la concluzia că proiecțiile ascendente ale formației reticulate alimentate cu colaterale din sistemul senzorial specific au o activitate tonică, care activează cortexul cerebral și mențin treaz telencefalul. Diminuarea acestei activități duce la apariția somnului. Această ipoteză de somn pasiv produs prin deaferentarea funcțională a sistemului reticulat activator ascendent a dominat cercetarea somnului pe o perioadă de mulți ani. În același timp (1949), Moruzzi și Magoun au mai constatat că în cazul secționării trunchiului cerebral la nivel mediopontin, la câțiva milimetri caudal de secțiunea mezencefalică a lui Bremer, pisicile nu puteau să doarmă. Aceasta a sugerat că formația reticulată rostrală conține o populație neuronală a căror activitate este necesară pentru trezire, în timp ce trunchiul cerebral caudal are neuronii necesari pentru somn. Ulterior, Moruzzi (1959) a demonstrat că și acești neuroni aparțin formației reticulate.

Studiile recente sugerează că regiunea trunchiului cerebral care induce somnul poate fi reprezentată fie de nucleii rafeului (colecție de celule serotonergice aflate pe linia mediană a bulbului), fie de nucleul tractului solitar.

Astăzi, puțini sunt cei care acceptă această concluzie.

Datele de mai sus sunt relevante pentru înțelegerea comelor apărute ca urmare a lezării trunchiului cerebral. Astfel, au fost descrise cazuri de somnolență și comă la bolnavii cu leziuni mezencefalice, precum și stări de hipersomnie cu trezire, care simulau un somn natural, la pacienții cu leziuni hipotalamice posterioare (Davison și colab., 1946; Lipsett și colab., 1962).



Souques și colab (1926) și Castaigne și colab. (1967) au prezentat bolnavi cu hipersomnie intermitentă asemănătoare narcolepsiei idiopatice, la care s-au descoperit tumori localizate în aceleași zone a căror lezare produce hipersomnie.

Plum și Van Uitert (1978) au comunicat 19 cazuri la care diferitele leziuni hipotalamice au dus la hipersomnie, hipersomnie intermitentă, modificarea ritmului somn/veghe, comă sau nu au provocat nici o modificare a stării de conștiință.

Cel puțin două arii, care aparțin hipotalamusului și porțiunii telencefalice adiacente bazale, sunt esențiale pentru inducerea somnului normal; aria preoptică și nucleul suprachiasmatic.

Aplicarea directă a serotoninei pe aria preoptică și stimularea electrică a acesteia pot induce unde lente de somn. Ambele efecte pot fi atenuate prin aplicarea prealabilă a tratamentului cu paraclorofenilalanină (Kelly, 1991). Distrucția ariei preoptice la șobolan duce la apariția unei insomnii abrupte.

În inițierea somnului cu mișcări oculare rapide (REM-rapid eye movements) sunt implicate regiuni distincte din trunchiul cerebral.

Majoritatea neuronilor serotoninergici din nucleii rafeului dorsal și din substanța cenușie periapeductală au o activitate maximă în timpul trezirii și una drastic redusă în timpul somnului REM. S-a sugerat că acest patern se datorează suprimării de către acești neuroni a vârfurilor ponto-geniculo-occipitale (PGO). În faza de trecere de la somnul cu unde lente la REM, neuronii rafeului își încetează activitatea, rămânând în această stare în toate episoadele REM.

Jouvet și Delorome (1965) au demonstrat că acești neuroni inhibă activitatea REM, iar inactivitatea din timpul somnului cu mișcări oculare rapide indică terminarea inhibiției.

Populația de celule din trunchiul cerebral implicată în inducerea sau menținerea somnului REM secretă acetilcolină sau este sensibilă la acest neurotransmițător. Microinjecțiile de agoniști colinergici efectuate în tegmentul pontin al pisicilor prelungesc somnul REM.

Deși aceste arii de activare a somnului REM nu au nici un neuron colinergic, inputurile lor au fost delimitate de Quattrochi și colab. (1989). Amestecul de agoniști colinergici format din muscarină și nicotină (carbacolul) s-a dovedit a fi eficace în atragerea somnului REM.

Prin conjugarea carbacolului cu microsfele fluorescente, s-au marcat proiecțiile anatomice neuronale la locul de injectare și s-a putut înlocui o stare comportamentală de trezire cu una REM.

Marcarea retrogradă a fost prezentă într-o largă rețea din trunchiul cerebral, care includea nucleii cu și fără neuroni colinergici cunoscuți.

Printre ultimii se numără aglomerările celulare aminergice din rafeul dorsal și din locus ceruleus. Acest fapt demonstrează că somnul REM apare ca rezultat al activității unor grupe neuronale diferite, care utilizează transmițători diferiți.

Hobson și colab. (1975) au atras atenția asupra rolului acetilcolinei în somnul REM și a monoaminelor în somnul cu unde lente. Ei au delimitat două populații neuronale interconectate, care pot fi activate sau inhibate în timpul somnului REM. O populație de celule colinergice situată în câmpul tegmental gigantocelular

acționează rapid și într-o manieră fazică în toate perioadele somnului REM. Ea corelează cu vârfurile PGO, cu mișcările oculare rapide și cu contracțiile musculare. O altă populație de celule monoaminergice din locus ceruleus și din nucleii rafeului au o activitate scăzută în timpul somnului REM. Aceste caracteristici l-au determinat pe Hobson și colab. (1975) să afirme că paternul intrinsec de alternare a activității celulelor colinergice cu cele noradrenergice poate fi luat în considerație și în ciclicitatea dintre somnul REM și cel cu unde lente. Ulterior, Siegel și Mc Ginty (1977) au constatat că descărcarea celulelor tegmentale gigante corelează strâns cu mișcările alerte ale animalelor treze, nereprezentând o caracteristică a somnului REM, ci a activității motorii per se.

### **Rolul receptorilor 5-HT<sub>1B</sub> în reglarea somnului paradoxal**

Serotonina (5-HT) participă la reglarea stării de vigilență. Această observație i-a condus pe Boutrel și colab. (1998) la explorarea ritmului nictemeral al vegheii-somnului și al efectului ligantelor de receptori 5-HT<sub>1B</sub> la șoarecii mutanți neexprimați prin 5-HT<sub>1B</sub> și la sușa „sălbatică” de referință (129/SV). În cele 2 grupe (n=8 și 7) autorii au găsit un ritm circadian veghe-somn cu o perioadă nocturnă de activitate și o perioadă diurnă de repaus.

Totuși, șoarecii 5-HT<sub>1B</sub> au în timpul zilei un somn lent mai mic și un somn paradoxal mai accentuat decât al celor „sălbatici”. Activarea receptorilor 5-HT<sub>1B</sub> prin RU 24969 (0,25-5mg/Kg) sau prin CP 94253 (1-5mg/kg) antrenează inhibiția somnului paradoxal la șoarecii „sălbatici” dar nu și la șoarecii 5-HT<sub>1B</sub>.

Invers, blocarea receptorilor 5-HT<sub>1B</sub> prin GR 127953 (0,1-3mg/Kg) induce la șoarecii „sălbatici” o creștere a somnului paradoxal ca și blocarea efectului RU 24969. Creșterea somnului paradoxal este deci observată în absența sau după blocarea receptorilor 5-HT<sub>1B</sub>. Aceste date arată că receptori 5-HT<sub>1B</sub> asigură la șoareci controlul inhibitor tonic al somnului paradoxal (Boutrel și colab. 1998).

Datele de care dispunem nu rezolvă întreaga neurobiologie a somnului, prin faptul că în majoritatea neuronilor trunchiului cerebral pot exista doi sau mai mulți neurotransmițători. Până în prezent nu s-a putut stabili dacă această coexpresie chimică a mesagerilor este competitivă sau sinergică pe termen scurt sau lung și dacă evenimentele comportamentale circadiene de tipul privării de somn pot regla amestecul de produși neurosecretori din interiorul celulelor nervoase.

Concepția cu privire la existența unui singur model neurochimic regional al somnului trebuie reexaminată, deoarece somnul nu este un proces unitar, ci un complex de secvențe biologice și mintale, care se repetă.

### **Stadiile somnului normal**

Metoda principală de monitorizare a stadiilor somnului uman este electroencefalografia (EEG).

Stadiile 1-4 ale somnului cu unde lente caracterizate EEG prin frecvențe din ce în ce mai lente și cu voltaj mai înalt corespund stărilor de somn din ce în ce mai



profund. Când o persoană adoarme, EEG trece progresiv prin toate cele 4 stadii ale somnului cu unde lente într-o perioadă de 30-45 minute, iar la revenire parcurge aceleași stadii în ordine inversă, în aceeași perioadă de timp. EEG înregistrată în stare de veghe este constituită din unde cu voltaj scăzut și activitate rapidă. Următoarele 4 stadii ale somnului cu unde lente reprezintă stadii cu profunzimi succesive. Voltajul EEG cel mai scăzut este înregistrat în stadiul 1. Stadiul 1 al somnului non REM poate fi deosebit de stadiul 1 REM numai cu ajutorul electrooculografiei și a electromiografiei. Înregistrările făcute în stadiul 2 conțin numeroase explozii caracteristice fusurilor de somn cu durată de 1-2 sec. Stadiul 2 al somnului cu unde lente ocupă aproximativ o jumătate din somnul total.

În stadiul 3 și 4 domină undele lente de somn (somnul delta). Ele apar în prima treime a nopții și dispar adesea complet mai târziu, către dimineață. Stadiul 3 și 4 al somnului cu unde lente ocupă aproape 15% și are loc în prima jumătate a perioadei de somn.

În timpul somnului cu unde lente mușchii se relaxează, dar activitatea somatică nu este absentă. Cei care dorm normal execută ajustări posturale majore, aproximativ la fiecare 20 de minute, în timp ce alții reacționează astfel la fiecare 5 minute (Mc Ginty și Szymusiak, 1990).

În timpul somnului cu unde lente predomină activitatea parasimpatică.

Frecvența bătăilor cardiace și tensiunea arterială scad, iar motilitatea gastrointestinală crește.

Pragul pentru trezirea din somnul cu unde lente variază invers cu frecvența EEG. Stadiul 4 al somnului cu unde delta este cel mai dificil de întrerupt.

La 90 de minute după debutul somnului apar numeroase modificări fiziologice abrupte. EEG devine desincronizată cu voltaj scăzut, rapid, asemănătoare dar nu identică cu cea a stării de trezire. Această stare de somn a fost denumită somn paradoxal, somn activ și somn desincronizat. Înregistrările făcute pe animale au relevat că deși activitatea corticală este desincronizată, EEG hipocampică este înalt sincronizată cu unde teta (4-10Hz).

Stimularea continuă cu frecvență înaltă a nucleului talamic ventrointermediar (VIM) este eficientă în tratamentul tremurăturilor severe.

Nucleii talamici reticulați, implicați în geneza fusurilor somnului, sunt adiacenți nucleului VIM. Arnulf și colab., (1998) au studiat efectul stimulării VIM asupra genezei fusurilor de somn și au constatat că arhitectura și calitatea somnului nu se modifică prin stimularea respectivă. Autorii au ajuns la concluzia că stimularea nucleului talamic VIM este selectivă și nu modifică fusurile somnului.

Generatorul neuronal al ritmului teta este localizat în pătura celulelor piramidale ale câmpului CA<sub>1</sub> din girusul dințat și din cortexul entorinal. Ritmul teta hipocampic este observat în starea de trezire, în special când EEG corticală are o desincronizare maximă. Acest patern cerebral activ este cuplat cu pierderea tonusului muscular din întregul corp. Scapă de această paralizie generalizată numai mușchii scheletici care controlează mișcările ochilor, oscioarele urechii medii și respirației. Cel care doarme pierde la un moment dat și abilitatea reglării temperaturii corpului, modificând-o în direcția temperaturii ambiante. Acest fapt se datorează suprimării activității simpatice. Un alt semn este reprezentat de

contractia severă a pupilelor (mioza). Proprietatea dramatică și fundamentală a acestui stadiu al somnului este reducerea homeostaziei (Kelly, 1991).

În 1957, Dement și Kleitman au descris în timpul somnului cu desincronizare EEG, mișcările oculare rapide (REM-rapid eye movements). Acest stadiu activ al somnului a fost numit somn REM. Multe mișcări oculare din timpul somnului REM sunt lente și oscilatorii, dar peste acestea se suprapun și izbucniri de mișcări oculare rapide. Mișcările oculare rapide și activitatea fazică a mușchilor urechii medii coincid cu activitatea electrică bruscă, fazică înregistrată la animale din diferite structuri ale trunchiului cerebral (partea dorsală a punții, nucleul motor al oculomotorului, trigemenului și facialului), ale talamusului (nucleul geniculat lateral) și ale cortexului auditiv și vizual. Aceste unde monofazice ascuțite, ce se propagă rostral de la punte, au căpătat denumirea de vârful ponto-geniculo-occipitale (PGO). De fapt, puntea, generatoare a activității fazice, este considerată ca un pacemaker, ce dirijează multe evenimente fazice ale somnului REM, în care includem activitatea mușchilor urechii medii, spasmele musculare, modificările respiratorii, rata bătăilor cordului și fluxul sanguin coronarian (Kirbi și Verrier, 1989). În timpul somnului REM, crește pragul de trezire la stimulii mediului înconjurător, astfel încât REM este considerat ca cel mai profund stadiu al somnului. În același timp, un om sau un animal, care doarme, se poate trezi spontan din somnul REM mult mai ușor. După criteriul intern al trezirii, REM este cel mai ușor stadiu al somnului. Prin urmare, profunzimea somnului nu reprezintă un parametru unitar. În general, fiecare somn REM este precedat de o perioadă de somn lent și în mod normal, nu survine niciodată la debutul somnului de noapte. Somnul cu unde lente, care precede și care urmează unui stadiu REM, este un somn superficial, care face parte din stadiul 1 sau 2.

În fine majoritatea persoanelor trezite din somnul REM își amintesc rapid visele, în timp ce mai puțin de jumătate din cele trezite din somnul cu unde lente nu raportează nici o activitate mintală. În timpul unei nopți tipice de somn, adultul normal prezintă perioade de somn cu unde lente și perioade de somn REM. Stadiile REM apar la intervale regulate și se succed de 4-6 ori pentru o durată de somn de 8 ore. După prima perioadă REM intervalele dintre celelalte perioade REM ale unei nopți scad, în timp ce lungimea fiecărui episod REM tinde să crească. Durata totală normală a somnului cu mișcări oculare (REM) este în medie de o oră și jumătate până la 2 ore, adică de 20-25% din durata totală a somnului, în timp ce durata somnului cu unde lente este de 6 ore, adică 75-80% din ansamblul somnului. Prima parte a somnului, cu o durată de aproximativ 2 ore, este formată dintr-o lungă perioadă de somn cu unde lente și dintr-o perioadă REM de scurtă durată.

Stadiile mai ușoare ale somnului cu unde lente, împreună cu perioada mai lungă a REM au loc de preferință în a doua jumătate a nopții, astfel încât orele de dimineață se asociază în mod normal cu treziri mai frecvente. Stadiul 4 din somnul cu unde lente și somnul REM au caracteristici distincte pentru fiecare individ. Stadiul 4 al somnului cu unde lente este mult mai influențat de timpul anterior fără somn, în timp ce somnul REM este mai puțin afectat de acesta.

Somnul REM și stadiul 4 al somnului cu unde lente sunt afectate diferențiat de anumite medicamente. Mulți agenți psihoactivi, dar în special alcoolul și



barbituricele suprimă somnul REM, în timp ce stadiul 4 răspunde mai puțin la aceste droguri și mai mult la altele (Kryger și colab. 1989). De exemplu, stadiul 4 al somnului cu unde lente poate fi redus de benzodiazepine într-o măsură mult mai mare decât somnul REM (Kelly, 1991). Prin urmare, ciclul de somn constituit dintr-o perioadă de somn cu unde lente și dintr-o perioadă de somn REM poate fi considerat drept „unitate de somn”, a cărei expresie variază în cursul nopții.

Privarea selectivă de somn REM pentru o perioadă de 16 zile nu duce la apariția unor tulburări psihologice serioase. Scurtarea somnului REM timp de câteva nopți este urmată de inițierea sa precoce, de prelungirea sa și de creșterea frecvenței perioadelor REM. Cu cât privarea este mai lungă, cu atât și reboundul REM este mai lung și mai larg. Existența unui mecanism compensator de recuperare a somnului REM pierdut sau suprimat sugerează că somnul REM este necesar din punct de vedere fiziologic.

Administrarea cronică a inhibitorului monoamin oxidază poate duce la dispariția somnului REM și a viselor timp de câțiva ani fără consecințe psihologice.

Paternal somnului se află sub influența diferiților determinanți ontogenetici și filogenetici.

La om necesarul de somn zilnic scade în perioada copilăriei și adolescenței, se egalizează la vârsta medie, după care se diminuează din nou la bătrânețe.

Inevitabilitatea tulburărilor semnificative de somn la vârsnici nu este încă destul de clară.

După perioada neonatală, somnul și veghea devin progresiv stabile, iar ciclurile de somn se modifică progresiv, astfel încât, la vârsta de 3-4 ani, ritmul somn/veghe este bine instalat. Cea mai evidentă modificare produsă odată cu maturarea paternului de somn uman implică numărul stadiilor REM și stadiul 4 al somnului cu unde lente. Necesitatea somnului REM începe în utero. Somnul REM ocupă aproximativ 80% din totalul timpului de somn al unui nou născut prematur cu 10 săptămâni și 60-65% din timpul de somn al unui nou-născut prematur cu 2-4 săptămâni. Cu alte cuvinte, somnul REM al nou-născutului umple o jumătate din timpul normal de somn zilnic de 16 ore. La vârsta de 2 ani, somnul REM scade abrupt la 30-35% din timpul de somn, iar la 10 ani se stabilizează la 25%. Astfel, durata absolută zilnică de somn REM scade brusc de la 8 ore la naștere, la 1,5-1,75 ore la debutul pubertății (Campbell și Tobler, 1984; Curran și Franza, 1988). Prin urmare, după vârsta de 2 ani, numărul ciclurilor de somn diminuează progresiv odată cu vârsta și cu instalarea unui ritm nictemeral (gr. nux, nuctes= noapte, hemera=zi) stabil.

La bătrâni, somnul prezintă o anumită dezorganizare sau involuție, marcată îndeosebi prin frecvența trezirilor nocturne, prin multiplicitatea ciclurilor de somn nocturn și prin facilitarea ațipirilor diurne.

În ceea ce privește somnul cu unde lente, se poate remarca faptul că adormirea se produce adesea cu dificultate. În această perioadă apar bufeuri de unde lente, iar complexul K și fuserile de somn sunt puțin frecvente și imprecis conturate. Ritmul cardiac este instabil, mișcările respiratorii sunt neregulate, de multe ori întâlnindu-se perioade de apnee de 10-20 de secunde ce alterează cu

perioade de tahipnee. Aceste modificări respiratorii pot realiza ritmuri de tip Cheyne-Stokes (Krueger și Karnovsky, 1987). A doua parte a nopții este mai stabilă, somnul cu unde lente traducându-se prin unde lente continue și generalizate, de amplitudine mijlocie (25-50 $\mu$ V). În această perioadă ritmul cardiac și cel respirator sunt stabile (Popoviciu, 1972).

Studiile unor cercetători au arătat o reducere marcată a somnului REM la subiecții mai tineri. Apoi, la grupul de subiecți mai vârstnici s-a relevat o distribuție frapantă a stadiului 1 spre ultima treime a nopții, stadiile 3 și 4 apărând mai ales în prima treime a nopții.

Stadiul 4 al somnului cu unde lente scade exponențial în tot timpul dezvoltării și în perioada vârstei mijlocii, dispărând adesea după 60 de ani. Declinul stadiului 4 al somnului cu unde lente la bătrâni corelează cu creșterea numărului de treziri normale spontane și în ultimă instanță cu revenirea la un patern circadian bifazic de somn (aceasta echivalează cu ațipirea de după amiază).

În anul 1966 Roffwarg și colab. au sugerat că somnul REM joacă un rol important în dezvoltarea sistemului nervos, rol asemănător cu cel al exercițiilor fizice în dezvoltarea mușchilor. Această teorie are în vedere faptul că somnul REM provoacă o activitate intensă a circuitelor neuronale și că substanța cerebrală consumă în cursul somnului REM mai mult oxigen decât în timpul oricărui exercițiu fizic sau mintal din timpul perioadei vegile. Astfel, s-a postulat că somnul REM reprezintă o sursă potentă de stimulare internă necesară maturării propriului creier. Totuși, această teorie nu explică de ce visele continuă și după dezvoltarea completă a creierului (Kelly, 1991).

După lezarea punții, somnul REM poate apărea fără atonie (Lai și Siegel, 1988).

În anul 1965, Jouvet și Delorme au descoperit că paralizia care apare în timpul somnului REM poate fi eliminată selectiv prin lezarea punții, în special a locus-ului ceruleus. Întreruperea puternicei inhibiții motorii a stării REM relevă la pisică un comportament lipsit de paralizie în timpul somnului REM. Acest comportament specific fiecărei specii se manifestă prin atac, furie, fugă, pregătire și explorare (Borbely și Valarx, 1984). Mișcările din timpul stării REM sunt strâns legate de explozia vârfurilor PGO din timpul somnului REM.

Somnul REM al tuturor animalelor poate fi programat genetic. Din această cauză, circuitele neuronale care controlează secvențele comportamentului instinctiv pot fi organizate în timpul somnului REM coform programului genetic, care ulterior se adaugă repertoriului creierului matur (Gaillard, 1983). Totuși, pentru punerea în practică a comportamentului instinctiv există și alte posibilități situate în afara somnului REM. Astfel, paternul instinctiv motor se formează la animalele tinere în timpul comportamentului de joc manifestat în stare de veghe. După studiile lui Morrison (1988) asupra somnului REM fără atonie, reglarea comportamentului motor din timpul somnului REM depinde de locul și mărimea leziunilor experimentale din trunchiul cerebral. Leziunile progresive și mai întinse ale formației reticulate pontine duc la desfășurarea progresivă și mai elaborată a comportamentului în timpul somnului REM.

De fapt, anticiparea acestei relații a sugerat lui Morrison că pisicile respective nu acționează în afara viselor. Din această cauză, comportamentul



agresiv a fost observat în timpul REM numai în cazul în care leziunile au fost extinse în partea rostroventrală a mezencefalului.

Pe de altă parte, aceleași animale erau agresive cronic și în stare de veghe, fapt care sugerează că agresivitatea a fost accentuată în mod nespecific atât în timpul somnului REM, cât și în starea de veghe.

Prin urmare, paraliziile care acompaniază în mod normal starea REM nu sunt nici necesare și nici esențiale pentru stadiul respectiv al somnului.

### **Efectul depleției acute diurne de triptofan asupra somnului omului normal**

La pisică, serotonina cerebrală necesară instrumentării somnului lent profund (SLP) și paradoxal (SP) nu este secretată decât în momentul trezirii. La om, depleția acută de triptofan care scade serotonina cerebrală este un model depresogen.

Arnulf și colab. (1998) au ajuns la concluzia că depleția acută de triptofan nu alterează decât moderat somnul, întârziind apariția SLP și a SP, dar ale căror mișcări oculare sunt mai dense. Ea reproduce parțial caracteristicile somnului depresivilor.

### **Visele și fiziologia somnului**

Descoperirea corelației strânse dintre somnul REM și visele vizuale la om a dus la schimbarea multor noțiuni cu privire la vise. Anterior se credea că visele sunt rare, dar studiile de fiziologie modernă au arătat că fiecare individ visează în cicluri regulate de mai multe ori în fiecare noapte. Rațiunea conform căreia visele erau considerate rare, are în vedere faptul că ele nu erau bine evocate (Hobson, 1988). Probabilitatea reamintirii unui vis scade la zero în timpul episoadelor cu unde lente, care au loc la 8 minute după somnul REM. Ca rezultat noi ne reamintim numai visele de dimineață, care sunt cu cel mai vechi și cel mai emoțional conținut psihologic (Kelly, 1991). În timpul unei singure nopți de somn, intensitatea fiziologică a succesiunii perioadelor REM se accentuează, fapt măsurabil prin frecvența evenimetelor fazice (vârfuri PGO, mișcări oculare rapide, prin contracția mușchilor urechii medii, prin neregularitățile cardiorespiratorii și prin spasmele musculare).

În reamintirea conținutului viselor un rol important îl are creșterea paralelă a succesiunii perioadelor REM, intensitatea tonusului emoțional și intervenția imageriei vizuale. În acest sens pledează afirmația conform căreia mișcările oculare sunt în relație cu imageria viselor.

Visele bogate în evenimente sunt asociate cu perioade REM mai frecvent decât visele inactive, iar mișcările oculare sunt probabil activate fazic de către același mecanism neuronal care sugerează imageria viselor. Prin urmare, ambele tind să fie sincronizate (Hobson, 1988).

Visele sunt în primul rând vizuale, legate de experiența perceptivă din starea de veghe. Cei cu orbire congenitală au vise auditive, iar cei ce-și pierd gradat vederea pierd și abilitatea viselor vizuale.

Lungimea narativă a unui vis corelează pozitiv cu durata somnului REM (Dement, 1965). După cum am văzut, somnul nu este un proces unitar, deoarece este constituit dintr-o multitudine de fenomene biologice.

## **Tulburările somnului**

În anul 1979, asociația pentru studierea psihofiziologiei somnului și a tulburărilor acestuia (Association of sleep disorders centers and the Association for the psychophysiological study of sleep) a publicat prima clasificare completă a tulburărilor somnului și trezirii. Această clasificare include patru categorii principale: 1) tulburarea inițierii și menținerii somnului (insomnia); 2) somnolența excesivă sau hipersomniile (apneea somnului sau narcolepsia); 3) tulburarea programului de somn-trezire manifestată prin disrupția sistemului ; și 4) parasomniile.

Somnul nu reprezintă un comportament izolat, datorită faptului că tulburările sale se reflectă asupra performanțelor , stărilor sufletești și chiar asupra întregii vieți. În țările industrializate, aproximativ 15% din populație are probleme cronice serioase cu somnul. În plus, alți 20% acuză insomnie intermitentă. În cazul pacienților internați în serviciile de psihiatrie, proporția ajunge până la 70%.

În acest subcapitol vom descrie tulburările cele mai importante de somn, precum și mecanismele neurale ale acestora.

## **Narcolepsia**

Narcolepsia, descrisă de Gelineau în 1880, exprimă o stare caracterizată printr-o nevoie subtilă și irezistibilă de a dormi, de obicei de scurtă durată, care apare în cursul zilei după o senzație de curbatură și constricție cefalică și care se produce la intervale din ce în ce mai apropiate, obligând persoana să cadă sau să se întindă fără a-și pierde cunoștința. Narcolepsia nu este atât de rară, deoarece poate fi întâlnită la 0,04% și 0,09% din populație.

În anul 1957, Yoss și Daly au descris simptomele ce caracterizează narcolepsia, descoperind că în afara atacurilor de somn, pacientul narcoleptic poate să-și piardă brusc tonusul muscular, sincopă denumită cataplexie. Atacul cataplectic, caracterizat prin disoluția tonusului de postură și prin inhibiția completă a motilității voluntare, este brusc și uneori previzibil, datorită semnelor premonitorii cunoscute de bolnav (constricție, căldură, oboseală intensă, mișcări involuntare, diplopie tranzitorie, acces de râs etc.). Cataplexia nu este legată în mod obligatoriu de narcolepsie.

Toți autorii au fost frapați de existența unui factor declanșator de natură emoțională (râsul, joaca, pescuitul, rar situațiile tragice sau triste, stimulările senzitive etc.). Inhibiția tonusului de postură are o întindere și o intensitate variabilă. În marile accese cataplectice, disoluția tonusului este generală. Brusc,



mandibula se lasă, gura se întredeschide, pleoapele se închid, capul se înclină cu bărbia în piept, brațele cad de-a lungul corpului, degetele lasă să le scape orice obiect, genunchii se pliază, iar bolnavul se prăbușește murmurând ceva sau pronunțând câteva cuvinte neinteligibile. În aceste condiții, persoana rămâne imobilă și incapabilă de orice mișcare, ca un curarizat. Disoluția tonică este progresivă, iar căderea este lentă fără a provoca răniri, fapt ce deosebește acest fenomen de căderea brutală hipertonică din epilepsie. În unele cazuri, inhibiția motilității este parțială, timp în care pot apărea și unele mișcări involuntare cu alură de automatism lent.

Autorii care au putut face un examen neurologic au observat abolirea reflexelor miotatice, prezența semnului lui Babinsky și a unui reflex fotomotor lent, midriază cu reflex fotomotor absent, inexcitabilitate electrică totală la mușchii feței, paloare sau vasodilatație, tulburări de ritm cardiac etc.

Al treilea simptom al narcolepsiei este paralizia somnului. Acest episod de inhibiție musculară apare în timp ce persoana stă întinsă în pat și se lasă dusă de somn sau se trezește. Conștient, dar incapabil de a se mișca sau vorbi, pacientul are adesea o respirație superficială.

Al patrulea simptom este constituit din halucinația hipnagogică auditivă sau vizuală. Ea apare numai la debutul somnului de zi sau de noapte. Paralizia somnului și halucinațiile apar la puțini narcoleptici.

Cele patru simptome reflectă imixțiunea proprietăților inhibitoare normele ale REM în starea de trezire (atacul de somn și cataplexia) sau în tranziția dintre veghe și somn (paralizia somnului și halucinațiile). De fapt, pacienții narcoleptici pot intra aproape direct din starea de veghe în somnul REM. La aproximativ 50% din cazuri, aspectul REM apare la narcoleptici în 10 minute de la debutul somnului. Ca rezultat, debutul somnului REM, al cincilea simptom definitoriu, este considerat ca simptom de diagnostic al narcolepsiei (Honda, 1988; Kryger și colab., 1989).

Al șaselea semn al narcolepsiei se referă la diminuarea latenței somnului voluntar. Un narcoleptic poate adormi la cerere în 2 minute, în timp ce subiecților normali le trebuie un interval de aproximativ 15 minute ca să adoarmă.

Hishikawa și colab. (1976) au constatat că narcolepticii nu pot dormi la cerere mai mult decât subiecții normali.

Diagnosticul diferențial se face cu: maladia lui Unverricht, în care bolnavul conștient cade pentru scurt timp, dar prezintă hemiclonii ale corpului, niciodată întâlnite în cataplexie; - cu ictusul laringian al lui Charcot, la care căderea bruscă se asociază cu pierderea cunoștinței, precedate de chinte de tuse și furnicătură laringiană; - cu paralizia familială periodică, în care diskaliemia nu dă simptome rapide și scurte ca în catalepsie; - cu tulburările circulatorii vertebro-bazilare; - cu derobarea parțială a membrilor inferioare; - cu epilepsia statică a lui Ramsay Hunt, al cărei atac se caracterizează printr-o cădere bruscă de scurtă durată fără convulsii, dar cu pierdere de cunoștință; - și cu crizele de akinezie parțială (André Thomas), la care lipsește factorul emoțional declanșator și care se asociază cu tulburări de conștiență ce persistă, cu senzație de înstrăinare și dezorientare și cu amnezie mai mult sau mai puțin complexă.

Cataplexia și paralizia somnului narcolepticilor pot avea cauze comune (Kelly, 1991). Ambele simptome pot fi legate de activarea masivă a sistemului

inhibitor descendent din trunchiul cerebral unde își are originea și care ajunge, în timpul stadiului de somn REM, la neuronii motori spinali.

Un studiu asemănător cataplexiei poate fi indus la animale prin injectarea directă de carbacol (agonist colinergic) în formația reticulată pontină dorsală (Miler și Dement, 1974). Regiunea de inducere a stării respective de atonie, fără somn REM, corespunde foarte bine ariei pontine, a cărei distrucție duce la somn REM fără atonie (Kryger și colab., 1989).

Pierderea tonusului muscular în timpul somnului REM nu se extinde la ochi și nici la mușchii urechii medii. În timpul atacului cataplectic și al paraliziei somnului pacienții pot mișca ochii.

În ciuda abilității de a adormi rapid și a intra imediat în prima perioadă a REM, narcolepticii au un interval de timp REM mai scurt decât normalii și o arhitectură perturbată a somnului. În general, narcolepticii prezintă deviații excesive ale stadiilor somnului, manifestate în special în intervalul de la somnul REM la stadiul 1 al somnului cu unde lente (Scwitch, 1984). Somnul REM este frecvent întrerupt, semn narcoleptic cunoscut sub denumirea de fragmentare a somnului REM.

Acum se știe că narcolepsia este mai complexă decât simpla stare de deprivare REM (Brodal, 1981; Carskadon și Dement, 1987 și 1989).

Astfel, cel mai adesea narcolepsia idiopatică implică o combinație de factori genetici (HLA-DR2) și de mediu, dar în narcolepsia simptomatică secundară intervin leziuni cerebrale (tumori cerebrale) și leziuni care afectează trunchiul cerebral, în special puntea.

Guilleminault și Anagnos (1998) au comunicat primul raport în care relevă, prin imaginerie cu rezonanță magnetică, semnale anormale pontine la pacienții cu narcolepsie.

**Parasomniile somnului paradoxal ale subiecților narcoleptici.** Paralizia somnului se manifestă prin incapacitatea de a mobiliza membrele, capul și de a respira cu o amplitudine normală asociată cu o angoasă importantă. Tulburările de comportament în somnul paradoxal (TCSP) se caracterizează prin pierderea intermitentă a atoniei în cursul somnului paradoxal (SP) și prin apariția unei activități motrice elaborate asociată cu o activitate onirică. Ondzé și colab. (1998) au avut ocazia de a înregistra la un subiect narcoleptic de 48 de ani internat pentru cataplexii frecvente 5 episoade paroxistice, din care 3 în cursul nopții și 2 în cursul unui test iterativ de latență a adormirii (TILA) care a urmat polisomnografia nocturnă. Clinic, subiectul avea secuse ale capului și mișcări ale buzelor cu bomănituri și cuvinte inaudibile sau de tip „nu pot, nu, mi-e teamă,,.

Polisomnografia a notat descărcări musculare, mișcări oculare rapide, unde teta și în dinți de fierăstrău.

Primele trei episoade s-au produs în al treilea ciclu al somnului, primul debutând la 27 minute după SP, iar al treilea a avut loc cu 11 minute înaintea terminării SP. Al patrulea și al cincilea episod s-au produs în timpul celei de-a doua și a treia sesiuni a TILA.

Concluzia lui Ondzé și colab. (1998) relevă incapacitatea de a se ridica în timpul paraliziei somnului. Cu toate acestea, atonia musculară incompletă,



mișcările corporale și apariția lor în timpul somnului paradoxal sugerează mai mult TCSP. Această tulburare a apărut la pacientul lui Ondzé și colab (1998) în formă intermediară între PS și TCSP.

Drogurile care accentuează transmiterea la nivelul sinapselor centrale catecolaminergice afectează diferențiat și diferitele simptome ale narcolepsiei. Stimulentele de tipul d-amfetaminei favorizează controlul somnolenței și al atacurilor de somn prin sintetizarea transmițătorului la terminalele nervoase, dar nu au nici un efect asupra celorlalte simptome ale narcolepsiei.

Antidepresivele triciclice, care blochează reabsorbția norepinefrinei și serotoninei de către terminalele presinaptice, previn cataplexia, dar nu au nici un efect asupra atacului de somn. Prin urmare, medicamentele eficace în tratarea atacului de somn au un efect slab asupra cataplexiei și invers. Acest fapt sugerează că simptomele narcolepsiei, ca și componentele fiziologice ale somnului REM, reflectă activitățile separate ale populațiilor neuronale (Mendelson și colab., 1982; 1983 și 1984).

Narcolepsia are o puternică componentă ereditară, chiar dacă debutează tardiv în decada a doua.

**Formele familiale ale narcolepsiei.** Existența formelor familiale ale narcolepsiei este cunoscută din timpul primei descrieri a maladiei, făcută de Westphal (1877). Diferitele studii sunt tentate a preciza modul de transmitere a maladiei cu rezultate foarte variabile datorită caracterului fenotipic insuficient.

Bazați pe criteriile clinice ale lui Honda (1987), Dauvilliers și colab (1998) au reținut 316 subiecți atinși de narcolepsie. La 233 a putut fi realizat un arbore genealogic de gradul doi, prin precizarea prezenței somnolenței diurne excesive, izolate sau asociate cu cataplexia. Într-un al doilea timp Dauvilliers și colab. (1998) au trimis un chestionar Epworth tuturor celor aparenti (somnolenți sau nu) de gradul 1 și 2. Ulterior, a fost adresat un chestionar Stanford subiecților somnolenți (Epworth > 10) pentru a confirma narcolepsia la subiecții suspecți și pentru a elimina o altă cauză de somnolență la cei cu somnolență izolată. Astfel, au fost identificate 18(7,72%) cazuri. S-au identificat și alți subiecți atinși de narcolepsie, (42-18%) dar unii dintre aceștia erau atinși de somnolență diurnă excesivă aparent izolată. Riscul unei familii narcoleptice de a avea un alt membru de gradul întâi, atins de narcolepsie este de 48%. Coeficientul de reglare a narcolepsiei și a somnolenței diurne excesive, calculat în rândul acestor 233 de familii este de 0,24.

**Date imunologice din narcolepsie.** Honda și Juzi (1988) au descoperit bazele moleculare genetice ale narcolepsiei. Ei au demonstrat că această maladie se asociază cu moștenirea unui antigen din clasa II (denumit DR2) a complexului major de histocompatibilitate. Complexul major de histocompatibilitate este constituit dintr-un mănunchi de gene care encodează suprafața moleculelor implicate în recunoașterea antigenului și a interacțiunilor celulare din cadrul sistemului imun. Fiecare genă are numeroase forme alelice. Aceasta înseamnă că fiecare membru al speciei are o genă, dar membrii diferiți au diferite forme de gene.

Genele din clasa II a complexului major de histocompatibilitate encodează o serie de molecule denumite antigene Ia, exprimate primar pe limfocite. Genele

din clasa II controlează și nivelul răspunsului imun la unele antigene, fapt datorită căruia ele sunt denumite și gene de răspuns imun. Honda și colab (1985) și Honda și Juzi (1988) au descoperit că toți narcolepticii japonezi sunt DR2 pozitivi. Această caracteristică este întâlnită numai la 25% din populația normală.

Asocierea dintre DR2 și narcolepsie este importantă din cauza relației genei complexului imun de histocompatibilitate cu maladiile autoimune.

Și alte maladii, în care includem și scleroza multiplă, au fost asociate cu locusul DR2, deci cu disfuncția imună.

Haplotipul găsit la aproape toți narcolepticii caucazieni și japonezi are specificul serologic HLA DR2-DQw1 corespunzător nivelului genelor HLA DRB1\* 1501, DQA1\* 0102 și DQB1\* 0602. Ținând cont de puternicul dezechilibru de legătură între DR și DQ de la caucazieni și japonezi, DRB1\* 1501 este aproape exclusiv asociat cu DQA1\* 0102 și DQB1\* 0602.

Unul din mijloacele de precizare a regiunii genomice purtătoare a specificității pentru narcolepsie îl reprezintă studiul diferitelor popoare.

Această modalitate de abord a arătat că la negrii americani asocierea DQB1\* 0602 a fost găsită în mod sistematic în timp ce asocierea DR2 a fost descoperită numai la 60% din cazuri.

Bazin și colab. (1998) au studiat narcolepsia în Martinica unde populația este predominant metisă. Grupul de studiu a fost format din 24 de subiecți din care 14 atinși de narcolepsie completă și 10 atinși de narcolepsie fără cataplexie. La cele două grupe, accesile de somn erau severe dar cataplexia a fost rară la prima grupă. Latența medie de adormire a fost severă la ambele grupe. Toți subiecții au fost Dqwl pozitivi dar numai 64,2% din narcoleptici și 70% din narcolepticii fără cataplexie au fost DR2 pozitivi, fapt care confirmă datele obținute de la populația neagră americană.

**Aprecierea sensibilității narcolepsiei.** În principiu narcolepsia reprezintă o contraindicație de conducerea automobilelor. Totuși, după starea clinică, după datele examenelor complementare și după rezultatele terapeutice pot apărea posibilități de conducere a vehiculelor.

Dauvilliers și colab (1998) au studiat severitatea maladiei la 300 subiecți atinși de o formă completă de narcolepsie și au ajuns la următoarele concluzii: 100 de subiecți au prezentat 2 semne cardinale (accese de somn și cataplexie); 102 au avut cele 2 semne asociate cu halucinații hipnagogice sau cu paralizii ale somnului; 98 au avut tetrada completă.

Severitatea cataplexiei a fost încadrată în următoarele scoruri: 1) aproximativ 1 an; 2) mai puțin de 1 an; 3) cel puțin o lună; 4) cel puțin o săptămână; 5) cel puțin o zi.

Severitatea somnolenței a fost evaluată prin scala de somnolență Epworth. Patologia pentru un scor mai mare de 10 a fost prezentă la 86 subiecți. Un scor mai mic de 7 a fost prezent la 216 subiecți.

În concluzie, severitatea narcolepsiei este foarte variabilă la fiecare subiect. În prezent Dauvilliers și colab, (1998) lucrează la o nouă scală care va ține cont de severitatea datelor clinice și de înregistrările polisomnografice.



## Hipersomniile

Inițial s-a considerat că hipersomnia nu se distinge de somnul normal decât prin profunzimea și durata sa, prin bruscetea apariției și imposibilitatea de a se sustrage influenței sale. Ulterior, s-au reliefat diferențele dintre somnul normal și cel patologic, în care se înglobează diverse tulburări ale conștienței, ce merg de la somn până la comă.

Somnul patologic este însoțit de anomalii electrice sau de o activitate electrică comparabilă cu somnul fiziologic. Această dualitate electrică corespunde celor două tipuri de hipersomnii. Unele se sprijină pe date anatomoclinice ce arată că leziuni encefalitice provoacă diverse tulburări ale stării de conștiență, ce merg de la somn la comă. Altele nu au la bază modificări anatomice decelabile, fapt pentru care sunt raportate ipotetic la unele perturbări funcționale. Gradul tulburărilor de conștiență, care merg de la somnolență la comă, depinde de localizarea și întinderea leziunii cerebrale.

**Hipersomniile simptomatice prelungite** au, spre deosebire de cele paroxistice din cadrul narcolepsiei, o durată care atinge mai multe ore, zile, săptămâni, sau luni. Un somn care depășește 10 ore la adult și 12 ore la copil poate fi considerat ca anormal, în afara cazului când este vorba de un somn compensator. Modul de instalare, durata, profunzimea, precum și reversibilitatea completă, imediată și rapidă a somnului constituie criterii de diferențiere a somnului fiziologic de sincopă, narcoză, absența epileptică, hipnoza, narcolepsia și comă.

**Forme polisimptomatice ale hipersomniei idiopatice.** Hipersomnia idiopatică a fost descrisă pentru prima dată în anul 1976 de către Roth. În descrierea sa inițială autorul distinge forme polisimptomatice caracterizate printr-un episod principal de somn de lungă durată, o mare dificultate de trezire, o somnolență diurnă mai mult sau mai puțin permanentă și sieste tipice de durată lungă neodihnitoare; și forme monosimptomatice mai prost caracterizate, cu episoade de somn cu durată normală sau lungă, trezire plăcută, somnolență diurnă permanentă sau recurentă și sieste mai mult sau mai puțin odihnitoare.

Dauvilliers și colab. (1998) au raportat 12 cazuri de insomnie idiopatică polisimptomatică, la care în afara semnelor descrise anterior autorii au semnalat debutul în copilărie (3 cazuri), în adolescență (7 cazuri) și la vârsta adultă (2 cazuri). În concluzie, autorii arată că hipersomnia idiopatică polisimptomatică se caracterizează printr-o durată maximă de somn în decursul celor 24 de ore.

**Somnolența** este o stare intermediară între veghe și somn. Această ațipire puțin profundă, în care pierderea cunoștinței nu este completă, este penibilă, de neînvins, deși nu se instalează brutal. În acest timp, bolnavul poate înțelege cuvintele rostite cu voce tare și poate răspunde cu o oarecare luciditate.

În absența stimulărilor exterioare, somnolența se instalează din nou.

Electroencefalograma corespunde fazelor I și II ale somnului normal.

De cele mai multe ori, somnolența durează zile, săptămâni sau luni, fiind întreruptă doar de scurte perioade de trezire spontană sau provocată. Starea poate evolua către vindecare sau comă.

**Letargia** este o tulburare de vigilență sau reglare de a stării somn-veghe. Adesea, aceasta este provocată de hipnoză sau de produși anestezici (narcoză). Clinic, ea poate fi confundată cu coma, dar se diferențiază de aceasta prin absența tulburărilor neurovegetative grave și prin posibilitatea unei treziri tranzitorii printr-o stimulare forte.

Starea întreruptă de o excitație violentă conservă un grad cert de obnubilare și torpoare intelectuală. Instalarea letargiei se face brusc sau progresiv, iar durata este de ore, zile, luni, ani Uneori, ca și la somnolență, apare inversarea ritmului nictemeral. Evoluția merge către dispariție sau comă. Sechelele se pot manifesta prin somnolență, insomnie și sindrom narcoleptic.

Somnolența și letargia pot exista izolat sau asociate cu confuzii mintale, obnubilare, sau torpoare. Acestea nu sunt decât simptome clinice ale numeroaselor afecțiuni (infecțioase, tumorale, vasculare, traumatice, metabolice, endocrine) pe care le vom aminti în continuare.

**Encefalita letargică** (Cruchet și Von Economo) sau epidemică realizează cele mai pure hipersomnii continui. Când debutul este brutal, bolnavii în plină sănătatea simt o invincibilă nevoie de a dormi, culcându-se oriunde. Inițial, bolnavul poate fi trezit prin excitații slabe.

În forma ambulatorie a encefalitei epidemice bolnavul poate lucra, dar adoarme când are un moment de liniște.

În formele severe, hipersomnia este profundă și poate dura mai multe săptămâni sau luni. Uneori, bolnavul se trezește pentru nevoi fiziologice sau pentru a bea și mânca, după care readoarme. Perioadele de somnolență sunt întrerupte și urmate de faze de excitație, de insomnii, sau delir.

Există și o formă insomnică a encefalitei epidemice. Febra, paraliziile oculare și prostrația complexă reprezintă un tablou clinic care denotă o atingere mezodiencefalică.

**Maladia somnului** este o altă boală infecțioasă, al cărei tablou clinic dominant este hipersomnia diurnă de profunzime variabilă, continuă sau paroxistică, asociată uneori cu insomnie nocturnă. Astfel, tripanosomiata realizează o serie de stări intermediare între vigilența normală și un somn profund sau comă. Ea duce la o perturbare profundă de organizare a somnului cu răsunet asupra fazelor I și IV, respectând stadiul mișcărilor oculare.

**Encefalitele virale** cu viruși neurotropi se înșoțesc de cele mai multe ori de hipersomnii, timp în care bolnavul doarme toată ziua și toată noaptea, dar poate fi trezit. Insomnia sau inversarea ritmului nictemeral sunt rare în cursul encefalitelor și aparțin formelor delirante.

Encefalitele vaccinale dau de obicei forme letargice. Encefalitele melitococice constituie o complicație a brucelozei, iar hipersomnia este o manifestare a unei afecțiuni cerebrale. Tabloul dominant este constituit din torpoare, obnubilare intelectuală, somnolență, sau letargie.

Meningoencefalitele diverse (tuberculoasă, luetică, din cadrul febrei tifoide, a salmonelozei, a meningitei acute etc.) se înșoțesc de o stare de torpoare de profunzime variabilă, asociată cu somnolență, întreruptă de perioade de agitație.



Prezența paraliziiilor oculare apropie această formă de hipersomnie de tabloul encefalitei letargice

**Encefalopatia Gayet -Wernicke** are ca simptome dominante tulburări de conștiență, somnolență întretăiată de perioade de agitație, uneori insomnie, o deteriorare intelectuală progresivă, cu apatie și indiferență afectivă, care evoluează către o stare confuzională cu crize de agitație și delir, paralizii ale nervilor oculomotori și tulburări de echilibru. Afecțiunea este determinată de leziuni cu caracter hemoragic, situate în partea superioară a trunchiului cerebral periependimar, interesând nucleii nervilor oculomotori. Ea este atribuită unei carențe de vitamina B<sub>1</sub>, provocată mai frecvent de alcoolism.

În concluzie, în cadrul encefalitelor sau a meningoencefalitelor constatăm o atingere selectivă a substanței cenușii de la nivelul calotei mezencefalice și a regiunii hipotalamice posterioare.

**Hipersomniile din cursul proceselor expansive intracraniene** formează, de asemenea, o categorie distinctă. Procesul expansiv, generator de hipersomnii, poate avea o localizare diversă (hemisfere cerebrale, cerebel, trunchi cerebral). Astfel, hipersomnia poate fi întâlnită în toate sindroamele de hipertensiune intracraniană, dar se asociază cu o stare de torpoare, lentă și sărăcire a ideății, relizând o vâscozitate a gândirii de intensitate variată.

De asemenea, o hipotensiune intracraniană decompensată se poate manifesta prin somnolență, asociată sau nu cu o stare de obnubilare care evoluează către comă.

În afara hipertensiunii sau hipotensiunii cerebrale, hipersomnia poate fi un simptom însoțitor al tumorilor cerebrale, care comprimă regiunea hipotalamică posterioară, infundibulo-tuberiană și mezencefalică, constituind uneori unicul semn.

În tumorile de trunchi cerebral apar sindroame clinice determinate de lezarea acestuia și de viteza cu care se dezvoltă blocarea LCR, creșterea presiunii intracraniene și a hidrocefaliei. În acest context, am descris cazuri cu hipersomnie și cazuri cu morți subite, fără un istoric îndelungat (Dănăilă, 1993).

**Hipersomniile de origine vasculară cerebrală** (ischemie sau hemoragie) se asociază cu paralizii oculare sau cerebeloase ce constituie semne de mare valoare diagnostică. De interes deosebit sunt leziunile localizate în trunchiul cerebral, care infiltrează substanța reticulată. Se admite că aceste leziuni vasculare ale trunchiului cerebral localizate în teritoriul pedunculo-protuberanțial posterior pot uneori realiza integral semiologia nevraxitei epidemice cu agitație psihomotorie, mioclonii, atingeri oculare și tulburări de somn.

Tulburările de vigilență și somn, akinezia și oftalmoplegia bilaterală sunt adesea revelatoare de tulburări circulatorii în partea superioară a trunchiului cerebral.

Somnolența este un semn important al hemoragiilor din calota pedunculară. Sindromul hemoragic din partea superioară a pedunculilor este frecvent și se caracterizează clinic printr-o oftalmoplegie disociată sau completă, asociată cu perturbări de coordonare motrică și mai ales de somn.

**Hipersomniile de origine traumatică** sunt mai puțin studiate. Ele se datorează unei contuzii cerebrale, în special a trunchiului cerebral superior, sau a

unui hematoma intracranian, care prin intermediul unei hernii temporale comprimă trunchiul cerebral. De asemenea, leziunile traumatice ale trunchiului cerebral superior sunt susceptibile de a antrena hipersomnii prelungite.

Există și hipersomnii minore după un traumatism cranian.

***Hipersomniile simptomatice din cursul afecțiunilor psihiatrice sunt mai puțin frecvente.*** Dally (1974) a observat o tendință irezistibilă la somn după șocuri psihice, după dispariția unei ființe dragi. Astfel de insomnii sunt interpretate ca un fel de protest împotriva evenimentelor neplăcute care vin să afecteze cursul existenței sau ca o manieră de sustragere de la consecințele penibile ale unui eveniment. Sunt de semnalat și somnul, letargia simplă sau complicată cu contracturi, catalepsia și moartea aparentă isterică. Distincția este dată de absența rezoluției musculare, existența mișcărilor palpebrale, contracția membrilor și a maxilarului, tendința de conservare a atitudinilor, reacția la stimulii nociceptivi aplicați pe piele și pe mucoase.

Uneori, nevrozele angoase, sindroamele korsakoviene acute, stările maniacale, melancolice și catatonice sunt însoțite de veritabile hipersomnii și adormiri spontane.

Somnul hipnotic echivalează cu o stare de somn fiziologic indus.

Unii autori au constatat că, în cursul hipnozei, EEG este identic cu traseul din starea de veghe, pe când alții susțin că nu ar exista nici un traseu de somn sau veghe.

***Hipersomniile reacționale*** pot apărea în unele situații afective sau conflictuale importante. După cataclisme, poate apărea la supraviețuitori o stare de stupeoare sau de somn irezistibil. Este bine cunoscută apariția somnului consecutiv unei sarcini dificile sau a unor situații de analiză a activității. Cităm în plus somnul isteric, extaza yoghină și hipnozele. În clinică, sunt cunoscute și studiate două tipuri de hipersomnii a căror explicație fiziopatologică nu este încă elucidată.

1) **Sindromul Pickwick**, descris de către Burwell și colab (1956), se traduce prin accese de somnolență, care apar la persoane tinere obeze, cu insuficiență respiratorie prin hiperventilație, ce antrenează hipoxemie cu hipercapnie acidotică, cianoză, poliglobulie și insuficiență cardiacă dreaptă. Modificarea ritmului respirator, relevat prin pauze de 20-40s, este urmată de o inspirație profundă, care alungă somnul și antrenează trezirea. Somnul nocturn este agitat din același motiv al apariției anomaliilor respiratorii cu pauze care duc la numeroase treziri. Acestea sunt asociate cu mișcări parțiale, globale sau mioclonii, care pot ajunge până la crize convulsive.

Faza de somn lent sau profund este rar atinsă, iar faza de somn cu mișcări oculare poate să nu se producă.

Hipoxia și hipercapnia par să joace un rol esențial în apariția acceselor de somn. La acești bolnavi, se presupune posibilitatea existenței unei anomalii a chemoreceptorilor față de presiunea  $O_2$  și  $CO_2$ .

2) **Sindromul Klein-Levin**, care a fost precizat de Levin în 1936, se caracterizează prin apariția unor lungi perioade de somn, a căror durată poate varia de la 1 la 3 săptămâni. La acestea se adaugă o foame excesivă (bulimie) și



tulburări de comportament de tip depresiv sau de expresie confuzo-onirică. Sindromul apare la persoane tinere, între 10 și 30 de ani, de sex masculin. Debutul poate fi progresiv relevat prin perioade de foame sau senzație de frig, oboseală psihiică, tulburări de comportament de tipul agitației, confuziei sau hiperexcitabilității sexuale, care pot persista multe zile după perioada de somn.

În timpul nictemerului, perioadele de trezire au o durată de 5-9 ore și sunt însoțite de o foame devorantă, care duce la o creștere rapidă în greutate, mai rar la sete exagerată și la iritabilitate confuză.

Aproape toți autorii insistă asupra importanței semnelor psihice din acest sindrom (iritabilitate, hiperactivitate, senzații de depersonalizare, stare confuză, tulburări schizofrenice etc.). Fiziopatologia acestui sindrom nu este cunoscută, dar ea se asociază cu degenerări ale funcțiilor de bază (foame, sete, temperatura, etc.) care, după cum știm, depind în mare parte de dereglările diencefalice și hipotalamice. Pe an apar aproximativ 3 astfel de episoade, iatr dispariția sindromului, de fapt ca și apariția sa, se produce fără o cauză aparentă.

## Parasomniile

Parasomniile se caracterizează printr-o gamă largă de comportamente normale, irezistibile, care sunt exagerate de somn sau apar exclusiv în timpul diferitelor stadii ale somnului, clarificând astfel unele mecanisme ale biologiei somnului normal, cum ar fi: enurezisul nocturn, somnambulismul, tulburarea comportamentului REM, teroarea nocturnă, coșmarurile și groaza.

**Enurezisul nocturn** al copiilor și al tinerilor apare independent de stadiul REM cu vise. Incidența sa a fost estimată la 3-6% din populația generală, 15% din acești copii având tulburări psihice, iar 30% fiind internați în secții de psihiatrie.

Enurezisul idiopatic sau esențial, a cărui cauză nu este cunoscută, este corelat cu diminuarea capacității vezicii urinare și cu întârzierea maturării controlului nervos respectiv.

Ocazional, enurezisul poate fi determinat de anomaliiile tractului urinar, de cistite, de diabetul zaharat sau insipid și de epilepsie.

Într-un episod enuretic tipic, s-a observat o perioadă de somn agitat urmată de câteva secunde de liniște, după care se produce enurezisul. Imediat după incident, este dificil de trezit pacientul din somn, acesta fiind confuz și incapabil de a-și aminti visele atunci când se trezește. Prin urmare, enurezisul nocturn nu este cauzat de vise.

Studiile de laborator au evidențiat că puține episoade enuretice (3 din 22) au legătură cu somnul REM (Kelly, 1991).

Micturiția apare în mod obișnuit în stadiile 4,3,2 ale somnului cu unde lente sau în stadiul I REM, depinzând de întinderea perioadei de calm dintre mișcarea corporală inițială și enurezis.

**Somnambulismul** se manifestă prin coborârea din pat și printr-un mers inițial instabil, cu ochii deschiși și cu o față inexpressivă. Când comportamentul

somnambulului devine mai complex și mai coordonat (evită obiectele, curăță mesele, se duce la baie, mormăie sau vorbește incoerent), uneori răspunde monosilabic la întrebări. Dacă este lăsat în pace, somnambulul se reîntoarce în pat, iar la trezire își reamintește puțin despre activitățile nocturne sau despre vise. În laborator, somnambulismul apare aproape întotdeauna în stadiul 3 sau 4 al somnului cu unde lente. Datorită inhibiției intense descendente a neuronilor motori spinali și a paraliziei din timpul somnului REM, devine clar că stările somnambulice cu pași lenți nu pot apărea în timpul episoadelor REM (Jacobson și colab., 1965; Mendelson, 1987). Astfel, s-a clarificat că somnambulismul apare exclusiv în timpul somnului cu unde lente, cel mai frecvent în prima treime a nopții, când predomină stadiul 3 și 4.

Ca și enurezisul, somnambulismul apare mai mult la copii decât la adulți și se diminuează cu vârsta.

**Tulburările comportamentului REM** apar la pisici în cadrul anumitor leziuni de trunchi crebral. În astfel de situații, ele aparțin somnului REM fără prezența paraliziei normale. În timp ce majoritatea parasomniilor (enurezisul și somnambulismul) sunt inofensive, coșmarurile cu mișcări violente ale acestor stări sunt adesea amenințătoare pentru partenerul de somn și periculoase pentru cel care visează.

Într-un studiu efectuat de Mahowald și Schenck (1989) se arată că 85% din persoanele cu somn violent suferă leziuni, iar 44% lovesc partenerul de pat, uneori serios.

Unii pacienți cu tulburări ale comportamentului REM prezintă leziuni de trunchi cerebral identificabile sau alte probleme neurologice. În starea de veghe 50-60% din aceste persoane nu prezintă nici un deficit evident. De fapt, majoritatea celor cu somn violent nu au simptome de agresivitate în timpul zilei.

În tulburarea comportamentului REM paralizia normală din acest stadiu al somnului lipsește, fapt datorită căruia persoanele sar din pat și acționează conform visului. Din fericire, pacienții răspund bine la medicația anticonvulsivantă (clorazepam, benzodiazepine, carbamazepin) (Kelly, 1991).

**Bruxismul nocturn** caracterizat prin frecarea involuntară și energetică a dinților în cursul somnului, afectează 15-20% din populație. Această tulburare inconștientă debutează în jurul vârstei de 17-20 de ani și se menține, cu remisiuni spontane în jurul vârstei de 40 de ani. Cauza nu este cunoscută, dar ipotezele fiziopatologice evocă rolul unor anomalii dentare sau al unui mecanism neurologic central. Noi am observat acest sindrom la bolnavii cu tumori cerebrale profunde (care afectează nucleii bazali) a căror stare de conștiență este alterată.

**Teroarea nocturnă, coșmarurile și visele terifiante** apar în stadiul somnului cu unde lente și REM, mai frecvent la copii și mai rar la adulți. Aceste vise tulburătoare au adesea caracteristici fiziologice și psihologice exagerate. Atacurile de teroare nocturnă (pavor nocturnus) ale copiilor sunt cel mai bine caracterizate. Astfel, la 30 de minute de la adormire, copilul se ridică brusc din pat, țipă, ațintește cu ochii mari unele obiecte imaginare, fața se acoperă de transpirație, iar respirația se îngreunează. Imediat după atac, care durează 1 sau 2 minute,



amintirea visului este rară și fragmentară, iar în dimineața următoare nu-și mai amintește nimic despre acel episod.

Paternal evocării fragmentare reprezintă o caracteristică a somnului cu unde lente (stadiul 3 și 4). Diazepamul poate suprima teroarea nocturnă, paralel cu declinul stadiului 4 al somnului cu unde lente (unde delta).

La adulți, asemenea episoade sunt rare și se caracterizează prin oprire respiratorie, paralizie parțială, anxietate, transpirație, expresie facială fixă, dilatare pupilară și dificultate respiratorie. În timpul zilei, pacienții respectivi prezintă anxietate care depășește limitele normalului.

În evul mediu și anterior se credea că aceste coșmaruri sunt cauzate de demoni care comprimă toracele celui care doarme. De altfel, cuvântul francez „cauchemar” și cel german „nachtmar” conțin vechea rădăcină „mar” care înseamnă diavol.

Visele înspăimântătoare apar în perioadele REM normale ale persoanelor de toate vârstele. Aceste vise înfricoșătoare care conțin imagerii complexe, nu se asociază cu deprimarea respirației și includ vârfuri pontogeniculo-occipitale, ce nu au putut fi măsurate direct la om. Deoarece somnul REM este mai extensiv și mai intens decât somnul continuu, din punct de vedere fiziologic, majoritatea viselor REM terifiante apar în primele ore ale dimineții. Adesea, aceste episoade REM înfricoșătoare se referă și la coșmaruri. Clinic, fenomenele de vis cu grad înalt de anxietate care apar în timpul perioadei REM pot fi deosebite de cele care apar în timpul stadiilor somnului cu unde lente (Dement și colab., 1975). Ca și celelalte tulburări cu unde lente (enurezisul și somnambulismul), teroarea nocturnă diminuează cu vârsta de-a-lungul somnului delta.

Medicamentos, ea poate fi complet înlăturată cu ajutorul benzodiazepinei, care reduce în mod selectiv somnul delta.

În contrast, după perioada copilăriei timpul somnului REM nu poate fi modificat în mod apreciabil și nici nu poate fi suprimat cu medicamentele respective. Prin urmare, tulburările somnului cu unde lente și visele terifiante din perioada REM trebuie tratate în mod diferit.

### **Somnolența și oboseala din sindromul de rezistență căilor aeriene superioare (SRCAS)**

Sindromul de rezistență a căilor aeriene superioare a fost descris pentru prima dată de Guilleminault și colb (1993) la subiecți care se plâneau de somnolență diurnă excesivă (SDE) și astenie fizică la trezire.

La examenul acestor pacienți s-au găsit frecvente anomalii morfologice în sfera ORL și maxilo-facială. Somnul lor este fragmentar datorită numeroaselor reacții de trezire consecutive evenimentelor respiratorii neapneice: alungirea timpului inspirator, în raport cu o rezistență crescută a căilor aeriene superioare. Ondezé și colab. (1998) au pus acest diagnostic la 30 de pacienți: 21 bărbați și 9 femei în vârstă de 14-45 de ani. Somnolența diurnă excesivă a fost găsită la 18 persoane,

astenia la 15 și umflătura la 18 din care 1 femeie. O atenție particulară s-a dat morfologiei faciale. După polisomnografia inițială pentru controlul respirației și recunoașterea reacției de trezire Ondzé și colab (1998) au făcut un test iterativ de latență a adormirii și o polisomnografie cu măsurarea presiunii esofagiene. Somnul a fost analizat după criteriile lui Reschetschuffen și Kales iar reacția de trezire după criteriul utilizat de „American Sleep Disorder Association”.

Indexul orar de microtrezire a fost de 24,7+4, durata de veghe după adormire de 89,7+54,5 minute și durata totală de somn de 368,6+97 minute.

La scala de somnolență Epworth, 25 pacienți au apărut somnolenți (scor >11) în timp ce la testul iterativ de latență a adormirii au fost obiectivați 5 pacienți. În urma acestui studiu Ondzé și colab (1998) ajung la concluzia că somnolența diurnă excesivă din SRCAS este în relație cu microtrezirile legate de rezistența respiratorie crescută din timpul somnului.

### Apneea din timpul somnului

O altă tulburare a somnului se caracterizează prin perioade frecvente de pauze respiratorii denumite apnei ale somnului. Gastaut și colab. (1963) au descris un grup de pacienți cu apneea somnului, care nu-și amintesc frecvențele perioade de trezire nocturnă și care acuză un somn prea accentuat sau îndelungat. Aceștia au fost încadrați în sindromul de apnee cu hipersomnolență. Ulterior, Dement și colab. (1975) au descris un alt grup de pacienți cu tulburări asemănătoare, dar care acuzau insomnie prin faptul că nu adormeau imediat după perioada de apnee. Ei reprezintă aproximativ 10% din pacienții cu apneea somnului.

Apneea somnului afectează toate vârstele, indiferent de sex. Totuși, această tulburare este întâlnită mai frecvent la vârstnici. Ea a fost acuzată ca fiind unul din factorii sindromului de moarte bruscă la copii.

Unii cercetători au constatat că aproximativ 30% din persoanele de peste 65 de ani au apneea somnului, dar multe dintre acestea sunt asimptomatice, neînsoțindu-se de alte degradări. Totuși, este greu de crezut că apneea este singura tulburare. Uneori se asociază cu suprimarea activității centrului respirator medular, timp în care diafragma și mușchii intercostali rămân imobili (Kales și Kales, 1973).

În perioada de apnee, care durează 15-30 de secunde, oxigenul din sânge uscade, iar bioxidul de carbon crește, fapt care duce la stimularea centrului respirator și la reluarea funcției mușchilor amintiți (Kelly, 1991). Adesea, plămânii nu se umplu cu aer din cauza colapsului mușchilor orofaringieni apărut în contextul relaxării mușchilor corpului din timpul somnului cu unde lente. După un minut, concentrația excesivă de bioxid de carbon din sânge provoacă trezirea persoanei care doarme, după care tonusul muscular revine la normal. După câteva secunde, individul adoarme, iar ciclurile respective se pot repeta de aproximativ 1000 de ori pe noapte.

Tulburările neuropsihologice care apar la bolnavii cu apneea somnului pot fi secundare hipoxiei nocturne sau fragmentării somnului. Kales și colab. (1985) și



Pochat și colab. (1993) insistă în mod particular asupra depresiei și asupra tulburărilor de memorie, de gândire, de învățare și de comunicare. Greenberg și colab. (1987) și Bacque și colab. (1996) au observat tulburări de atenție, tulburări ale eficacității motorii, ale abilităților grafice și constructive. Pentru a explica ansamblul acestor simptome, autorii de mai sus evocă posibilitatea existenței unor leziuni subcorticale. Simptomele de deteriorare corticală, afazia, apraxia, și agnozia sunt în general absente.

Seppälä și colab. (1991) afirmă că dificultățile principale ale acestor pacienți vizează somnul, lucrul, aptitudinile mintale și în special sentimentul de a avea o sănătate proastă. Persoanele astfel afectate sunt în general obeze, hipertensive și cu tulburări de ritm cardiac, astfel încât primul act terapeutic se referă la cura de slăbire.

Perturbațiile psihologice ale acestui tip de boală se manifestă prin depresie cronică, anxietate, insomnie și acuze somatice (Bacque și colab. 1996).

Somnolența diurnă și adormirile incoercibile apărute după prânz pot împiedica reluarea lucrului. Adormirile sunt direct responsabile și de accidentele rutiere care în acest caz se multiplică cu șapte (Findley și colab. 1988). Dacă 4% din populația aptă de muncă prezintă apneea somnului este ușor de imaginat numărul bolnavilor în pericol, în cazul în care utilizează un vehicul (Lavie, 1983).

Medicamente pentru tratarea apneei somnului nu există, dar când acest sindrom este provocat de obstrucția căilor aeriene superioare poate fi încercat un tratament mecanic sau unul chirurgical. Tratamentul mecanic se referă la fixarea unei măști și la administrarea sub presiune a aerului, în scopul menținerii deschise a căilor aeriene ale gâtului între respirații. Această ventilație cu presiune pozitivă oferă rezultate absolut eficace, cu condiția să fie tolerată în toate nopțile.

Tratamentul chirurgical (faringoplastia) are în vedere lărgirea căilor aeriene superioare prin ablația uvulei și înlăturarea mucoasei și țesutului limfoid. Acesta dă rezultate bune la 50-60% din cazurile serioase (Kelly, 1991).

## Insomnia

Insomnia este un simptom caracterizat prin imposibilitatea menținerii duratei și calității somnului necesare activității normale din timpul zilei. Treizeci la sută din cei care se prezintă la consultație se plâng de insomnie și de alte tulburări neînțelese încă în mare parte. Pentru diferențierea tipurilor de insomnie, este necesară cunoașterea perioadelor somnului normal. Astfel, unii pacienți cu insomnie subestimează somnul real din timpul nopții. S-a constatat că unele persoane care acuză insomnie dorm și visează normal, dar somnul lor de dimineață este de calitate proastă și neodihnitor.

Dement și colab. (1975) au examinat somnul a 127 de indivizi cu insomnie și au constatat că timpul mediu de adormire este de 15 minute, iar durata somnului este de 7 ore. Autorii au estimat că 10-12% din persoanele cu insomnie au un

somn fiziologic normal. Formal, acești indivizi au fost încadrați în sindromul de pseudoinsomnie sau de agnozie a somnului.

Alți 30% din indivizii examinați sunt menținuți în stare de trezire de către unele evenimente fiziologice involuntare, cele mai comune fiind spasmele periodice stereotipe, cunoscute sub denumirea de mioclonii nocturne. O altă condiție care duce la întârzierea debutului somnului se datorează impulsului irezistibil de mișcare a membrelor, denumit sindromul picioarelor agitate. Prin urmare, aproape 50% dintre persoanele cu insomnie dorm normal, dar somnul lor este tulburat de evenimente fizice de care nu-și dau seama.

Studiile polisomnografice efectuate la pacienții cu insomnie cronică și acuze severe au relevat prezența unor disfuncționalități moderate ale somnului (scurtarea somnului, trezirea intermitentă, eficacitatea scăzută a somnului). La aceștia, continuitatea din timpul stadiului cu unde lente este mai importantă decât desfășurarea timpului total de somn. Alte insomnii sunt determinate de diminuarea somnului delta, cel mai profund stadiu al somnului cu unde lente, în timp ce altele au la bază o temperatură mai ridicată a corpului, temperatură măsurată rectal.

Anticiparea insomniei poate juca un rol major la cel puțin 15% din cazuri. Ea este clasificată în rândul isomiilor psihofiziologice (Lydic și Biebuyck, 1988).

Această insomnie condiționată de locuință și de mediul înconjurător dispăre când individul doarme la hotel sau în altă parte. Astfel, aproximativ 30% din insomnii se datorează tulburărilor emoționale, anxietatea fiind legată de dificultatea adormirii, iar depresia de trezirea timpurie.

Mulți pacienți depresivi sunt tratați în faza inițială cu pilule pentru somn. La aceștia, somnul delta este mai scurt, iar somnul cu mișcări oculare rapide (REM) este normal.

Kupfer și Foster (1972) au constatat că pacienții depresivi prezintă o scurtare a intervalului dintre debutul somnului și faza REM, la 5-15 minute de la dormire. Latența normală pentru somnul REM este de 80-90 de minute.

Insomnia temporară este consecința naturală a alterării ritmului circadian. În societatea modernă disrupția ritmului circadian normal este determinată de călătoriile pe distanțe mari cu avionul, de lucrul în schimburi de noapte, de unele activități de afaceri, de regimul din armată, etc.

Sindromul schimbării rapide a fusului orar (Jet-Lag) determinat de schimbarea meridianelor se caracterizează prin somnolență diurnă excesivă, insomnie la adormire și frecvente treziri nocturne în special în a doua parte a nopții. Acest sindrom este tranzitor având o durată de 2-14 zile în funcție de vârsta pacientului, de numărul fuselor orare traversate și de capacitatea de adaptare.

Stimulii care întrețin ritmul circadian intern, de 24 de ore, includ nu numai soarele, ci și ceasul, ritmul obișnuit de muncă, tăcerea sau zgomotul ritmic și chiar interacțiunea regulată impusă de ciclul activitate-odihnă al altor persoane. Modificarea unuia dintre acești parametrii duce la devierea ritmului circadian și la tulburarea somnului. Oamenii care stau în pat prea mult într-o zi au insomnie în noaptea următoare. Este comună, astfel, insomnia de duminică seara apărută după prelungirea somnului de dimineață.



Czeisler și colab. (1989) au constatat că ritmurile corporale pentru temperatură, formarea urinei și a unor hormoni pot fi restabilite prin expunerea persoanelor tinere timp de 5 ore la o lumină strălucitoare, atunci când temperatura corpului lor este cea mai scăzută. Magnitudinea și direcția schimbării ritmului se modifică și atunci când subiectul este expus unei iluminări slabe.

Cititul la o lumină slabă dă insomnie și alterarea ceasornicului biologic.

Dacă investigațiile și tratamentul pacienților cu somnolență diurnă excesivă sunt oarecum precizate, abordarea și tratamentul subiecților insomnici este imprecisă. Ondzé și colab. (1998) au urmărit 100 de insomnici cronici, cu ajutorul unei metodologii riguroase constatând din interogatorii standarde, examene clinice, chestionarul Pittsburgh, testul de personalitate MMPI, agenda trezirii și a somnului, chestionarul de topologie craniană și un examen polisomnografic pe timpul uneia sau a două nopți. Ulterior pacienții au fost urmăriți prin consultații timp de 3 luni până la un an.

Autorii relevă că impresia clinică reprezintă o primă etapă în diagnosticul insomniei cronice. Adesea, acesta trebuie revizuit după examenele complementare adecvate.

**Insomnia familială fatală.** Insomnia familială fatală este o boală ereditară rară, provocată de degenerescența bilaterală a nucleilor anterior și dorsomedian din talamus. Progresiv sindromul se complică cu disfuncție neurovegetativă, dizartrie, mioclonii și comă care duce la deces. Patogenia acestei distrucții talamice este insuficient cunoscută.

## Somnul bătrânilor

Unul din cei mai semnificativi determinanți ai somnului persoanelor normale este vârsta. La bătrâni, problemele somnului se amplifică datorită faptului că stadiul 4 al somnului cu unde lente diminuează sau este virtual eliminat în decada a șaptea de viață. Din această cauză, vârsnicii consacră mai mult timp stadiului somnului cu unde lente, din care adesea se trezesc.

În societatea noastră ritmul circadian al somnolenței este bifazic, dar piroteala normală de după amiază este mai pronunțată la persoanele în vârstă. Mai mult, din rațiuni încă puțin cunoscute, bătrânii își restabilesc cu dificultate ceasornicul biologic în cazul traversării unor zone întinse. Scurtarea marcată a timpului de somn este adesea secundară și altor probleme de sănătate întâlnite la vârsnici. Pacienții cu maladie Alzheimer dorm adesea în timpul zilei, iar noaptea au un somn fragmentat.

În privința tratamentului, remarcăm că prin anii '70, hipnoticele utilizate frecvent pentru insomnie au fost barbituricele. Inițial, ele ajută, dar după aproximativ 2 săptămâni devin insuficiente. Apoi, administrarea repetată a barbituricelor duce la dezvoltarea, în ficat a unei enzime care le degradează, diminuându-le astfel acțiunea farmacologică. Aceste enzime tind să fie nespecifice,

acționând și asupra altor hipnotice. Ca mod de acțiune, s-a constatat că barbituricele micșorează sever somnul REM, iar întreruperea tratamentului duce la apariția unui rebound al acestuia. Datorită proprietăților amintite, administrarea barbituricelor mai mult decât câteva zile agravează problemele somnului (Kelly, 1991).

În momentul de față, se utilizează frecvent benzodiazepinele, deoarece ele îmbunătățesc calitatea somnului și suprimă somnul cu unde lente, mult timp considerat ca fiind stadiul cel mai odihnitor. Aceste proprietăți fac ca medicamentele respective să fie eficiente atât în tratamentul insomniei, cât și în tulburările somnului delta. Studiile polisomnografice au arătat că flurazepamul, cel mai utilizat în insomnii, duce la creșterea stadiului 2 al somnului cu unde lente. Benzodiazepinele ajută pacienții să aibă un somn mai mult continuu decât unul mai lung.

Persoanele cu insomnie au în timpul somnului o temperatură corporală mai mare, iar benzodiazepinele le-o scade, fapt care se reflectă pozitiv asupra somnului cu unde lente (Sewitch, 1987; Kryger și colab., 1989). Cu toate acestea, deși benzodiazepinele sunt mai sigure decât barbituricele, ele dau obișnuință, iar la întreruperea bruscă a acestora apar simptome extrem de dezagreabile.

Mecanismul de inducere a somnului prin flurazepam implică receptori neuronali benzodiazepinici, care sunt implicați și în fiziologia reglării somnului normal.

Mendelson și colab. (1982) au constatat, la șobolani, prezența unui antagonist al receptorilor benzodiazepinici (3-hydroxymethyl- $\beta$ -carboline), care induce creșterea dozei dependentă de latența somnului, reducerea somnului cu unde lente (nu și a activității REM) și o trezire persistentă, fără a cauza modificări majore în activitatea motorie. Mai mult, dozele scăzute din acel drog, ce nu afectează somnul, blochează inducerea somnului prin doze mari de flurazepam.

Cele mai multe medicamente utilizate pentru reducerea somnului (amfetaminele) provoacă alterări profunde ale activității motorii și ale altor comportamente. Dacă se va dovedi că  $\beta$ -carbolina acționează direct asupra somnului normal reducându-l, fără a determina modificări comportamentale motorii majore, atunci medicamentul respectiv ar putea fi considerat ca un foarte bun somnolitic. Acesta ar putea fi folosit în tratamentul bolnavilor cu somnolență excesivă.

## VIII. TELENCEFALUL

La om, telencefalul reprezintă segmentul cel mai proeminent și cel mai evoluat al sistemului nervos central (SNC). La vârsta de 6 ani atinge 85% din greutatea creierului adultului, care la bărbați este de 1380gr, iar la femei este de 1250gr.

În componența sa intră cele două emisfere cerebrale (delimitate antero-posterior de fisura interhemisferică), comisurile și cavitățile lor.

### HEMISFERELE CEREBRALE

Masa propriu-zisă a hemisferelor cerebrale este compusă din: sistemul limbic, ganglionii bazali, substanța albă (dispusă în interior) și scoarța cerebrală (situată la exterior).



## Suprafața hemisferelor cerebrale

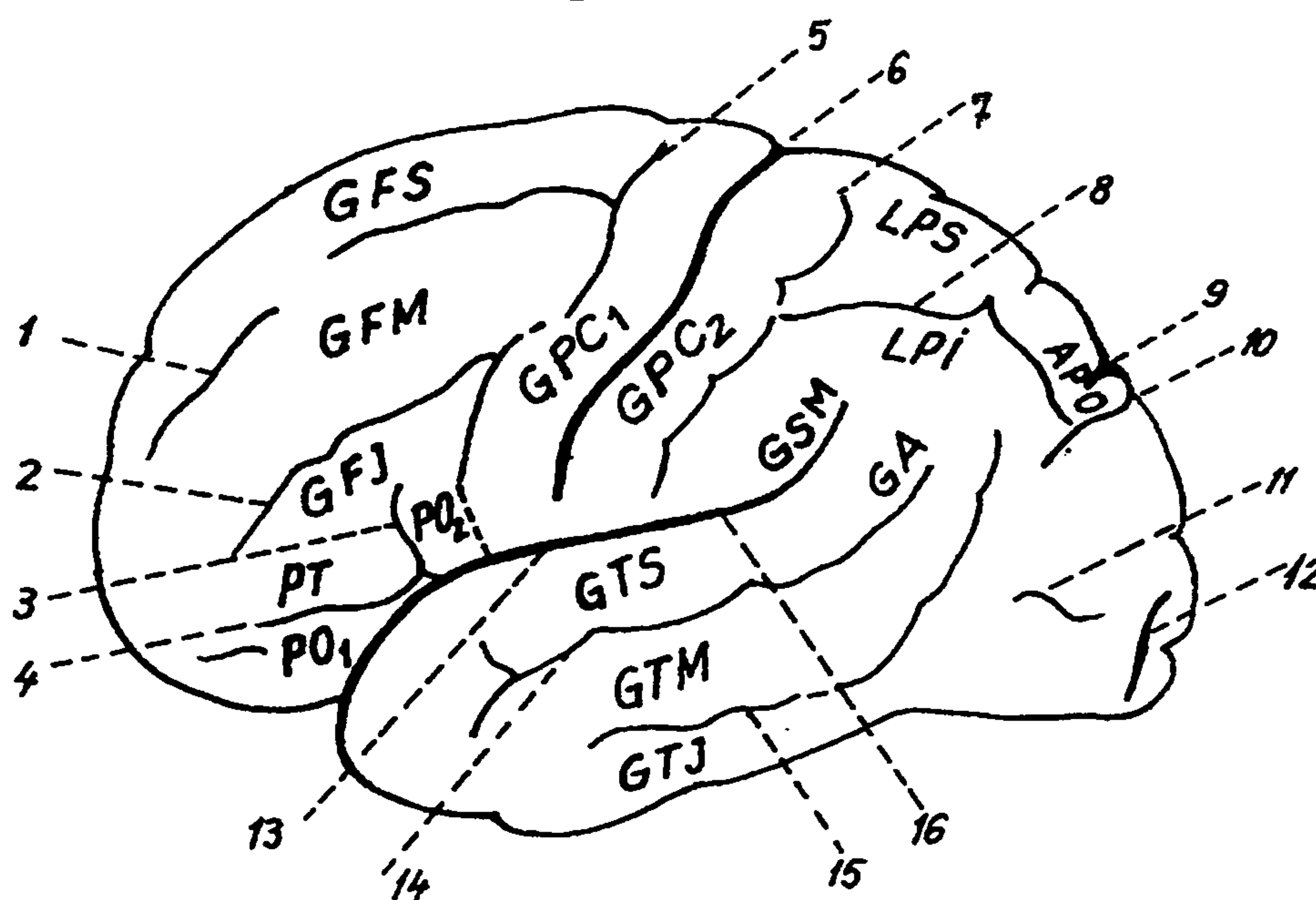
Fiecare hemisferă are trei fețe: externă (superolaterală); internă (medială) și inferioară (bazală) și trei margini: superioară sau superomedială, inferolaterală și inferomedială.

Marginea superioară (superomedială) se află între suprafețele externă și medială; marginea inferolaterală între suprafețele extenă și inferioară; și marginea inferomedială între suprafețele internă și inferioară.

Marginea inferomedială are o porțiune medială occipitală situată între regiunea tentorială a suprafeței inferioare și medială, și o porțiune medială orbitală care separă regiunea orbitală a suprafeței inferioare de cea medială.

La extremitatea anterioară a hemisferei se află polul frontal, iar la cea posterioară polul occipital. Polul temporal formează extremitatea anterioară a lobului temporal.

*Suprafața externă* a hemisferei cerebrale (fig 74), adaptată convexității bolții craniene, este brăzdată de numeroase circumvoluții (girusuri) separate de scizuri, sulcusuri sau șanțuri. Acestea fac ca aria cortexului uman să fie de circa 2200cm<sup>2</sup>. O treime din aceasta este vizibilă la suprafață, iar restul este ascunsă în scizuri și fisuri.



**Fig. 74.** Fața laterală a hemisferelor cerebrale.

1. Șanțul (sulcus) frontal superior; 2. Șanțul frontal inferior; 3. Ramul ascendent; 4. Ramul anterior; 5. Șanțul precentral; 6. Șanțul central (scizura lui Rolando); 7. Șanțul postcentral; 8. Șanțul intraparietal; 9. Șanțul parietooccipital; 10. Șanțul transoccipital; 11. Șanțul occipital lateral; 12. Șanțul lunat; 13. Șanțul lateral (Scizura lui Sylvius); 14. Șanțul temporal superior; 15. Șanțul temporal inferior; 16. Ramul posterior al șanțului lateral.

GFS - girusul frontal superior; GFM - girusul frontal mediu; GFI - girusul frontal inferior; PT - pars triangularis; PO<sub>1</sub> - pars orbitalis; PO<sub>2</sub> - pars opercularis; GPC<sub>1</sub> - girusul precentral; GPC<sub>2</sub> - girusul postcentral; LPS - lobul parietal superior; LPI - lobul parietal inferior; APO - arcul parietooccipital; GSM - girusul supramarginal; GA - girusul angular; GTS - girusul temporal superior; GTM - Girusul temporal mediu; GTI - girusul temporal inferior.

Cele trei scizuri (șanțuri sau sulcusuri), laterală (scizura lui Sylvius), centrală (scizura lui Rolando) și perpendiculară externă, caracteristice suprafeței externe, reprezintă factorii principali de referință utilizați în divizarea acesteia. Scizura (șanțul sau sulcusul) laterală pornește inferior de la nivelul substanței perforate anterioare, se extinde lateral între suprafața orbitală a lobului frontal și polul anterior al lobului temporal, după care ajunge pe suprafața laterală unde se împarte în ramul orizontal anterior, ramul ascendent anterior și ramul posterior. Ramul anterior și ramul ascendent se duc în girusul frontal inferior, în timp ce ramul posterior, după ce traversează suprafața laterală pe o distanță de 7cm, se termină în lobul parietal. În profunzimea sa se află insula.

Scizura centrală își are originea puțin înapoia mijlocului marginii superomediale, după care coboară inferior și anterior, pentru ca după 8-10cm să sfârșească deasupra ramului posterior al sulcusului lateral. El delimitează aria motorie primară de ariile somatosenzoriale.

Scizura perpendiculară externă sau sulcusul parieto-occipital, situată la nivelul marginii superioare între lobul parietal și occipital, este mult mai scurtă (aproximativ 1-2cm).

Scizurile amintite delimitează pe suprafața externă cei patru lobi cerebrali (frontal, temporal, parietal și occipital).

*Lobul frontal*, regiunea cea mai rostrală a hemisferei, este delimitat posterior de scizura lui Rolando, superior de marginea superomedială și inferior de marginea inferolaterală și de trunchiul scizurii lui Sylvius. Suprafața externă (superolaterală) este traversată de trei șanțuri și de patru circumvoluții sau girusuri.

Șanțul frontal superior situat paralel cu marginea superioară și cel inferior se divid în fața șanțului central, dând naștere șanțului precentral. Între șanțul central și precentral se delimitează circumvoluția frontală ascendentă sau girusul precentral. Extinsă dincolo de marginea superomedială aceasta se continuă pe suprafața medială cu lobul paracentral.

Aria lobului frontal, situată anterior de șanțul paracentral, este împărțită în trei circumvoluții: frontală superioară ( $F_1$ ); frontală mijlocie ( $F_2$ ) și frontală inferioară ( $F_3$ ). Circumvoluția frontală superioară de deasupra șanțului frontal superior se continuă peste marginea superomedială cu girusul frontal medial. Circumvoluția frontală mijlocie se află între șanțul frontal superior și inferior. Circumvoluția frontală inferioară de sub șanțul frontal inferior este invadată de ramul ascendent și anterior al scizurii lui Sylvius. Aria de sub ramul anterior este numită pars orbitalis; aria dintre ramul ascendent și anterior este numită pars triangularis; iar aria posterioară ramului ascendent este numită pars opercularis și se continuă posterior cu terminația inferioară a girusului precentral.

*Lobul temporal* situat inferior scizurii lui Sylvius este delimitat posterior de o linie arbitrară, care unește scizura perpendiculară externă (pre-occipitală) cu scizura preoccipitală. Suprafața laterală este împărțită de două șanțuri în trei circumvoluții paralele. Șanțul temporal superior începe în apropierea polului temporal, are un traiect ușor ascendent spre posterior, paralel cu ramul posterior al șanțului lateral, după care se curbează în sus și se termină în lobul parietal. Șanțul temporal inferior este subiacent și paralel cu cel superior. Capătul său posterior, paralel cu porțiunea terminală a șanțului superior, urcă și se termină în lobul parietal. Astfel, suprafața laterală a lobului temporal este împărțită în trei circumvoluții paralele: temporală superioară, medie și inferioară. Circumvoluția temporală superioară se continuă de-a lungul marginii superioare cu girusurile



planșeului ramului posterior al șanțului lateral. De obicei, în număr de două (anterior și posterior), ele pornesc din șanțul circular al insulei și se întind oblic, anterolateral către suprafață, sub denumirea de girusuri temporale transverse.

Girusul temporal transvers anterior împreună cu porțiunea din circumvoluția temporală superioară au funcție auditivă și se consideră a fi aria 42 Brodmann.

Girusul anterior reprezintă aproximativ aria 41. Regiunea auditivă a cortexului cerebral a făcut obiectul mai multor interpretări citoarhitectonice dificil conciliabile. Totuși, toți autorii sunt de acord că aria auditivă primară (aria 41 Brodmann) este de talie mică la om și că nu ocupă decât o parte a circumvoluțiilor lui Henschl.

*Lobul parietal* se întinde de la șanțul central până la cel parieto-occipital (scizura perpendiculară externă). Inferior, se află ramul posterior al șanțului lateral și o prelungire imaginară posterioară a porțiunii drepte a acestuia. Prin urmare, o parte din delimitarea sa este arbitrară. Aspectul său lateral este subdivizat de către șanțul postcentral și intraparietal în trei arii.

Șanțul postcentral, divizat adesea într-o porțiune superioară și una inferioară, este posterior și paralel șanțului central. Capătul inferior al acestuia se termină deasupra ramului posterior al scizurii lui Sylvius. El împarte lobul parietal într-un girus postcentral și o arie posterioară mai mare, subdivizată la rândul ei de către șanțul intraparietal. Șanțul intraparietal pornește de la mijlocul șanțului postcentral sau din capătul superior al părții sale inferioare și traversează postero-inferior lobul parietal, divizându-l într-un lobul parietal superior și unul inferior. Posterior, ramul său occipital ajunge în lobul occipital, unde se unește în unghi drept cu șanțul occipital transvers.

Girusul postcentral este situat între șanțul central și postcentral. Cortexul său primește impulsuri senzitive somatice și are numeroase conexiuni. Lobulul parietal superior, situat între marginea superioară și șanțul intraparietal, se continuă anterior cu girusul postcentral prin jurul capătului superior al șanțului postcentral. Posterior, se alătură arcului parieto-occipital care înconjoară partea laterală a șanțului parieto-occipital.

Lobulul parietal inferior, situat în partea inferioară a șanțului intraparietal și posterior părții inferioare a șanțului postcentral, este împărțit în trei: partea anterioară denumită și girus supramarginal se arcuiește deasupra părții terminale a șanțului lateral și se continuă anterior cu porțiunea inferioară a girusului postcentral iar postero-inferior cu girusul temporal superior. Posterior, poate fi delimitat de către un mic șanț denumit sulcus intermedius primus, care descinde din șanțul intraparietal. Partea mijlocie sau girusul angular (se crede că este în legătură cu elementul vizual al stereognoziei) se arcuiește deasupra părții terminale a sulcusului temporal superior și se continuă postero-inferior cu girusul temporal mijlociu. Uneori, la capătul său posterior apare un mic șanț, care poartă numele de sulcus intermedius secundus. Partea posterioară se arcuiește în jurul terminației șanțului temporal inferior, formând arcul temporo-occipital.

*Lobul occipital* este situat înapoia liniei arbitrare care unește șanțul parieto-occipital cu incizura pre-occipitală. Șanțul transvers occipital descinde din marginea superomedială, în spatele șanțului parieto-occipital și se unește în porțiunea sa mijlocie cu șanțul intraparietal. Partea sa superioară se află în spatele arcului parieto-occipital, reprezentat de un girus care înconjoară capătul terminal al șanțului parieto-occipital. Șanțul occipital lateral, scurt și orizontal, divide acest lob într-o circumvoluție occipitală

superioară și una inferioară. Când este prezent și lunate sulcusul, aflat chiar în fața polului occipital, acesta se unește cu scizura calcarină, dar de cele mai multe ori cele două șanțuri sunt separate. Buzele sale operculare separă aria striată de cea peristriată.

Lunate sulcusul se află în partea posterioară a girusului descendent, în spatele circumvoluției occipitale superioare și inferioare.

*Insula*, situată profund în planșeul șanțului lateral, este aproape complet înconjurată de un șanț circular și acoperită de ariile corticale adiacente. Ea devine vizibilă numai după deschiderea largă, artificială a scizurii lui Sylvius. Aria de acoperire, situată între ramul ascendent și posterior al scizurii lui Sylvius, este denumită operculul insulei.

Porțiunea dintre ramul anterior și cel ascendent formează *pars triangularis* al girusului frontal inferior. Operculul fronto-parietal, situat între ramul ascendent și posterior al scizurii lui Sylvius, este reprezentat de porțiunea posterioară a girusului frontal inferior, de aria terminală inferioară a girusului precentral și postcentral și de sectorul terminal inferior al părții anterioare a lobului parietal inferior.

Operculul temporal de pe buza inferioară a ramului posterior al scizurii lui Sylvius este format din girul temporal superior și din girusurile temporale transverse. Anterior, regiunea inferioară a insulei se învecinează cu porțiunea orbitară a girusului frontal inferior.

După înlăturarea operculului apare insula sub forma unei piramide cu vârful în jos în apropierea substanței perforate, unde șanțul circular este deficitar, iar partea medială a apexului poartă numele de girus ambiens (*limen insulae*). Suprafața insulară este divizată de către șanțul central al insulei, care de la apex este înclinat posterosuperior, într-o porțiune mai mare anterioară și una mai mică posterioară. Partea anterioară este împărțită de șanțuri puțin adânci în trei sau patru girusuri scurte, iar partea posterioară este constituită dintr-un singur girus lung, divizat adesea la capătul său posterior. Cortexul insulei se continuă la nivelul șanțului circular cu cel al operculului.

Subiacent insulei se află *claustrum* și *putamenul*.

În concluzie, insula a rămas fixă în cursul evoluției. Pe măsură ce neocortexul înconjurător s-a dezvoltat și structurile hemisferice au efectuat o mișcare de rotație, insula a fost progresiv acoperită de diferiți operculi.

La om, insula este voluminoasă și traversată de șanțuri care schițează un aspect giral. Dezvoltată din cortexul olfactiv, ea a fost clasificată în categoria olfactocentrică a ariilor paralimbice.

Structura insulei este organizată în inele concentrice în jurul cortexului paraolfactiv. Ea conține cortex agranular, care este în contact cu cortexul piriform, cortex disgranular, în care straturile II și IV sunt puțin distincte și, în sfârșit, cortex granular cu structură izocorticală.

*Suprafața medială a hemisferei* (fig 75.) este vizibilă numai după separarea prin secțiune a tuturor comisurilor și structurilor din jurul ventriculului trei. Formațiunea cea mai importantă de la acest nivel este marea comisură a corpului calos, care constituie planșeul regiunii centrale a fisurii longitudinale. Partea anterioară curbată a corpului calos este genunchiul ce se continuă în jos cu rostrum-ul și cu o porțiune îngustă (ciocul), care trece în spatele capătului superior al laminei terminalis. Genunchiul se continuă cu trunchiul, porțiunea cea mai importantă a comisurii, care se arcuiește în sus și posterior pentru a se termina într-o extremitate groasă numită *splenium*. Pe suprafața concavă a trunchiului, a genunchiului și a rostrum-ului corpului calos se atașează lamina verticală bilaterală a septum-ului *pellucidum*, care ocupă intervalul dintre acestea și



fornix. În fața lamei terminalis, se află o substanță cenușie triunghiulară îngustă, girusul paraterminal, separat de restul cortexului prin șanțul paraolfactiv posterior. Puțin mai anterior de acesta, se găsește un mic șanț vertical numit șanțul paraolfactiv anterior. Cortexul dintre aceste două șanțuri este numit arie subcaloasă sau girus paraolfactiv. Panta terminală anterioară a girusului paraterminal este numită uneori rudiment prehipocampal. Regiunea anterioară a suprafeței mediale este divizată de către șanțul cingulat într-o zonă exterioară și una inferioară. Șanțul cingulat pornește de sub rostrul corpului calos, se duce anterior, după care urcă, pentru ca în final să se îndrepte posterior, urmând aspectul curburii calosale. Capătul său posterior se îndreaptă în sus către marginea superomedială, terminându-se la 4 cm înapoia mijlocului acesteia, posterior de capătul superior al șanțului central. Zona exterioară, cu excepția extremității sale posterioare, face parte din lobul frontal. Ea este subdivizată de un mic șanț ascendent pornit din sulcusul cingulat de deasupra părții mijlocii a corpului calos, într-o arie anterioară și una posterioară. Aria anterioară mai mare este girusul frontal medial, iar cea posterioară este lobul paracentral. Capătul superior al șanțului lui Rolando ajunge în partea posterioară a lobului paracentral, dar girusul paracentral se continuă cu acest lobul. Această arie are sub dependența sa mișcările membrului inferior contralateral și regiunea perineală.

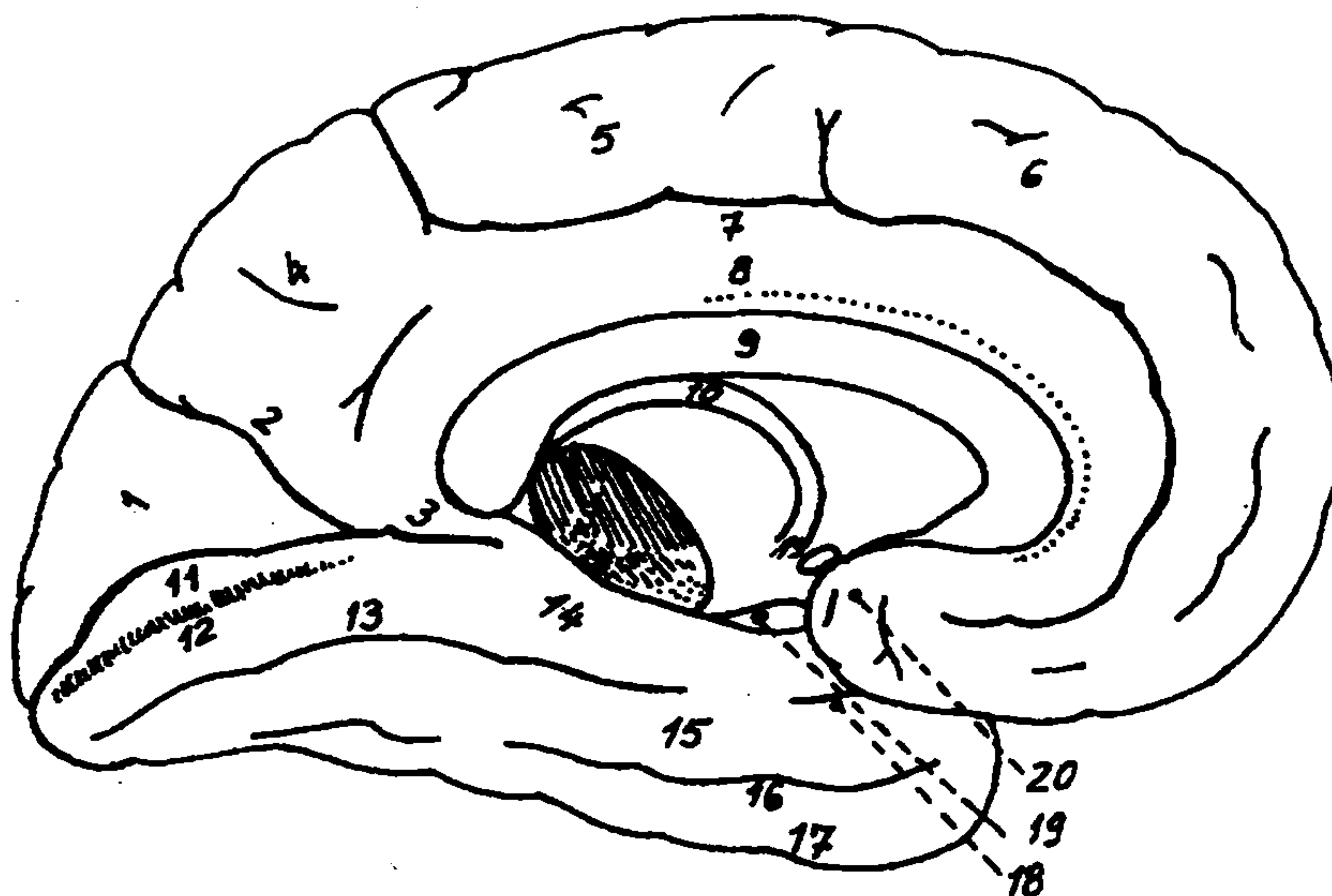


Fig. 75. Suprafața medială a hemisferei cerebrale stângi.

1. Cuneus; 2. Scizura (sulcusul) parietooccipitală (perpendiculară internă); 3. Istmul; 4. Precuneus; 5. Lobul paracentral; 6. Girusul frontal medial; 7. Scizura (sulcusul) cingulat; 8. Girusul cingulat; 9. Corpul calos; 10. Fornix; 11. Scizura (sulcusul) calcarin; 12. Girusul lingual; 13. Scizura (sulcusul) colateral; 14. Girusul parahipocampic; 15. Girusul occipito-temporal medial; 16. Scizura (sulcusul) occipitotemporal; 17. Girusul occipitotemporal lateral; 18. Scizura (sulcusul) rinal; 19. Uncusul; 20. Aria subcaloasă.

Datele clinice sugerează că ea exercită controlul voluntar asupra defecației și micțiunii.

Zona de sub șanțul cingulat este girusul cinguli. Acesta pornește de sub rostrul corpului calos, urmează curbura acestuia de care este separat prin șanțul calosal, trece în jurul splenium-ului și ajunge la suprafața sa inferioară, de unde se continuă printr-un istm cu girusul parahipocampic.

Prin urmare, girusul cingular adiacent anterior, superior și posterior corpului calos este compus din mai multe arii citoarhitectonice, organizate după două axe. Prima, axa anteroposterioară este formată din benzi longitudinale, care asigură o trecere treptată între reziduum hipocampic situat imediat deasupra corpului calos (indusium griseum) și izocortex. Cea de-a doua, axa verticală este formată dintr-o linie imaginară, care pornește de la vârful scizurii lui Rolando și se termină perpendicular pe circumvoluția pe care o împarte în două: o porțiune anterioară agranulară, corespunzând în mare parte ariei 24 Brodmann, și o porțiune posterioară, granulară, caracterizată printr-un strat IV bine dezvoltat, corespunzând în mare parte ariei 25 Brodmann.

Cortexul rostrosplenic, situat în spatele extremității posterioare a corpului calos, asigură trecerea de la girusul cingular superior la girusul parahipocampic inferior. Pot fi distinse și aici o parte granulară și una agranulară

În partea posterioară a lobului paracentral, șanțul cingulat se întrerupe, continuându-se doar printr-un șanț subparietal (suprasplenic) variabil.

Regiunea posterioară a suprafeței mediale este traversată de două șanțuri adânci care converg anterior, întâlnindu-se puțin posterior de splenium. Acestea sunt șanțul parieto-occipital și scizura calcarină.

Șanțul parieto-occipital (scizura perpendiculară internă) pornește din marginea superomedială, la 5 cm anterior de polul occipital, după care coboară puțin către scizura calcarină. Pereții șanțului parieto-occipital se aseamănă cu cei ai scizurii lui Sylvius prin faptul că au șanțuri și câteva girusuri mici.

Scizura calcarină pornește din polul occipital, se îndreaptă anterior puțin deasupra marginii inferomediale descriind o curbă cu convexitate către superior, după care se unește în unghi ascuțit cu șanțul parieto-occipital puțin înapoia splenium-ului. Prelungirea anterioară a acesteia încrucișează marginea inferomedială formând delimitarea inferolaterală a istmului, care conectează girusul cinguli cu cel parahipocampic. La nivelul joncțiunii sale cu șanțul parieto-occipital, scizura calcarină este traversată profund de girusul cuneolingual anterior. Porțiunea sa posterioară din spatele joncțiunii cu șanțul parieto-occipital este reprezentată de un șanț axial așezat în axul longitudinal al cortexului vizual. Porțiunea sa anterioară are aspectul unui șanț limitat, care separă cortexul striat (vizual) de cel al istmului. Aspectul anterior al scizurii clacarine este acela al unui șanț complet, care produce o ridicătură în cornul posterior al ventriculului lateral numită calcar avis. Aria patulateră delimitată anterior de partea posterioară a capătului ascendent al șanțului cingulat, posterior de șanțul parieto-occipital, superior de marginea superomedială și inferior de șanțul suprasplenic poartă numele de precuneus. Aceasta împreună cu lobul paracentral din spatele șanțului lui Rolando formează suprafața medială a lobului parietal.

Cortexul delimitat anterior de șanțul parieto-occipital, inferior de scizura calcarină și deasupra de marginea superomedială este cuneusul, adică suprafața medială a lobului occipital.

*Suprafața inferioară a hemisferei* este divizată de trunchiul scizurii lui Sylvius într-o porțiune anterioară mai mică și una posterioară mai mare. Porțiunea anterioară sau regiunea orbitală a feței inferioare, concavă transvers, se întinde deasupra lamei cribriforme a etmoidului și a plafonului orbital până la aripa mică a sfenoidului. Paralel cu marginea medială se află șanțul olfactiv acoperit de bulbul și tractul olfactiv, a căror direcție este anteroposterioară.



Fâșia corticală situată medial de aceste formațiuni poartă numele de girus rectus. Restul suprafeței este împărțită de un șanț în formă de H în patru girusuri: anterior, posterior, lateral și medial (fig 76)

Regiunea posterioară, mai mare, a feței cerebrale inferioare, aflată deasupra fosei craniene medii și a tentoriului, este traversată anteroposterior de șanțul colateral și occipitotemporal. Șanțul colateral pornește de lângă polul occipital, după care se extinde anterior, paralel cu scizura calcarină, până în apropierea șanțului rinal. Între șanțul colateral și scizura calcarină se interpune girusul lingual.

Șanțul rinal are direcția celui colateral și separă polul temporal de uncus, situat posteromedial. Șanțul occipitotemporal paralel cu șanțul colateral și lateral de acesta nu ajunge până la polul occipital și este frecvent divizat. Girusul lingual, dintre scizura calcarină și șanțul colateral, trece în girusul parahipocampic, a cărei origine se află la nivelul istmului, continuare a girusului cinguli. Anterior, girusul parahipocampic, situat medial de șanțul colateral și rinal, se continuă cu uncusul. Marginea sa medială se întinde pe marginea laterală a mezencefalului. Terminația anterioară a girusului parahipocampic, numită uncus, reprezintă marginea posterolaterală a substanței perforate anterioare. Uncusul face parte din lobul piriform al sistemului olfactiv, filogenetic una din cele mai vechi părți ale palium-ului.

Trecerea de la allocortexul formațiunii hipocampice la izocortexul celei de-a 5-a circumvoluții temporale este asigurată în girusul parahipocampic (temporala a 5-a) de benzi corticale dispuse după o axă anteroposterioară: în față se află cortexul entorinal iar în spate ariile TF-TH (în nomenclatura lui Van Holsen, 1982). În sfârșit, cortexul ce acoperă marginile șanțului rinal a fost individualizat (cortex peririnal) și joacă un rol deosebit de important în conexiunile dintre hipocamp și neocortex. Cortexul entorinal reprezintă principala sursă de aferențe hipocampice de origine corticală. Această arie este frecvent implicată în procese patologice. Situată pe fața internă și în partea anterioară a lobului temporal, ea este delimitată anterior și exterior de șanțul rinal semicircular, care îi dă și numele (entorinală,

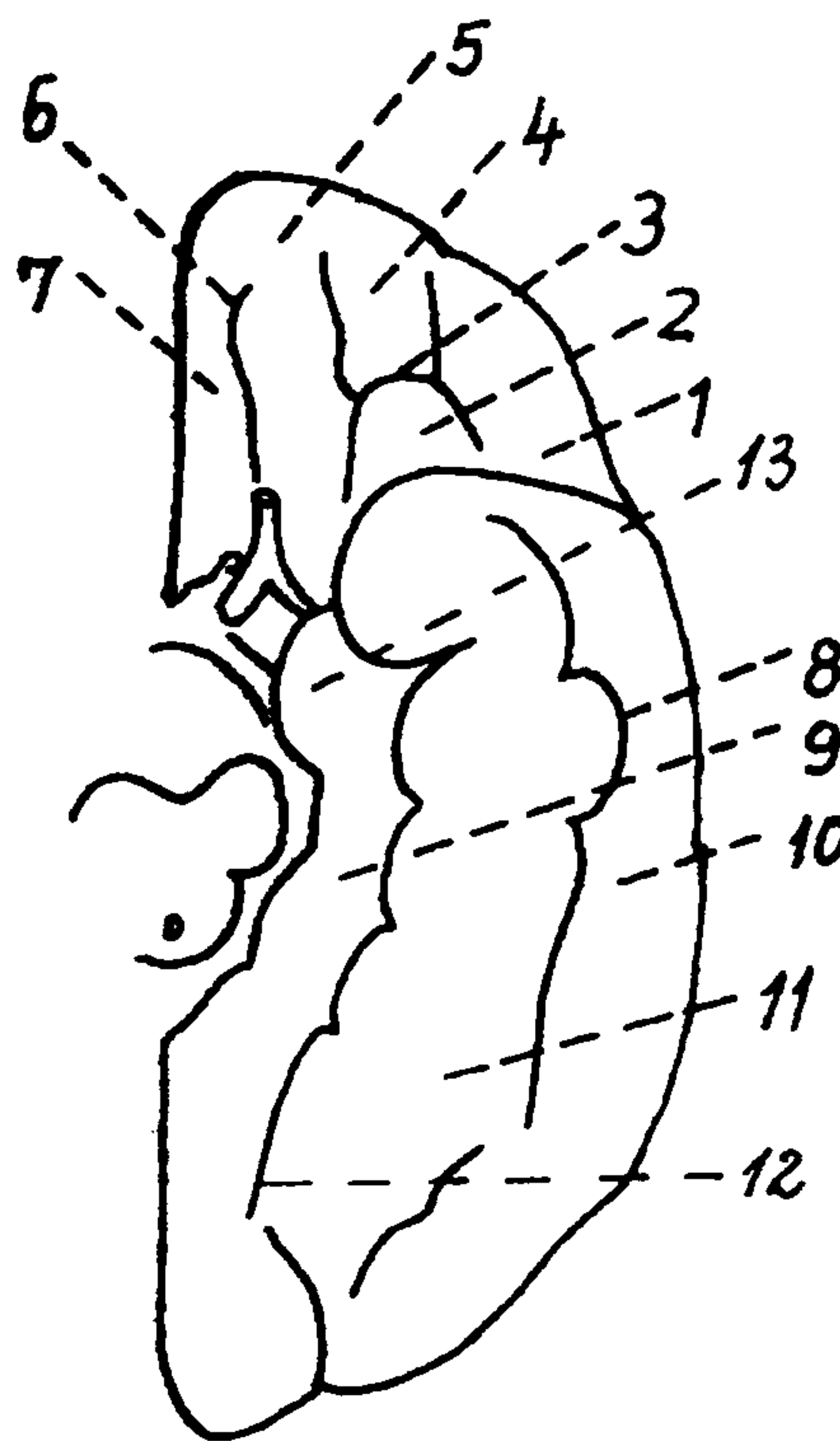


Fig. 76. Suprafața orbitală a lobului frontal

1. Girusul orbital lateral; 2. Girusul orbital posterior; 3. Șanțul orbital; 4. Girusul orbital anterior; 5. Girusul orbital medial; 6. Șanțul olfactiv; 7. Girus rectus; 8. Șanțul temporooccipital lateral; 9. Girusul parahipocampic; 10. Girusul temporal inferior; 11. Girusul temporooccipital (fuziform); 12. Șanțul temporooccipital medial (colateral); 13. Uncusul.

ento=la interior). Suprafața sa este marcată de mici ridicături (verrucae hippocampi) vizibile macroscopic. La examenul microscopic, un strat sărac de celule (lamina dissecans), situat aproximativ la mijocul grosimii cortexului în locul stratului IV, permite identificarea cu ușurință a acestei arii corticale. Fibrele eferente ale ariei entorinale constituie trasee mielinizate, care traversează subiculum din profunzime spre suprafață în drum spre girusul dințat (calea perforată).

Girusul occipitotemporal medial se întinde de la polul occipital până la cel temporal. Limita sa medială este dată de șanțul colateral și rinal, iar cea laterală de șanțul occipitotemporal. Lateral de această arie se află girusul occipitotemporal lateral, care se continuă în jurul marginii inferolaterale cu girusul temporal inferior.

## *SISTEMUL LIMBIC (Lobul Limbic)*

### **Caracteristici generale**

Termenul de lob limbic a fost introdus de Broca în anul 1878, pentru a caracteriza cortexul primitiv ce formează un inel (latin=limbus) în jurul trunchiului cerebral.

Multe structuri ale lobului limbic, vechi din punct de vedere filogenetic, au forma unui arc interpus între diencefal și cortexul cerebral.

Această formațiune a trezit interes numai după ce Papaz (1937) a relevat rolul său în comportamentul emoțional. Cercetările ulterioare, destul de voluminoase au scos în evidență conexiunile sale profuze cu hipotalamusul, talamusul, epitalamusul și cu diferitele arii ale sistemului olfactiv. El este intim implicat în integrarea mai înaltă a informațiilor olfactive, viscerele și somatice, precum și în paternurile complexe ale răspunsurilor homeostatice pe termen scurt și lung. La animale, acestea includ căutarea și capturarea prăzii, curățarea, împerecherea, creșterea puilor, elemente subiective și expresive ale răspunsurilor emoționale, balanța dintre agresivitate și comportamentul comun (în particular hipocampusul) și formarea memoriei (MacLean, 1969; Livingston, 1970; Issacson și Pribram, 1975; Livingston și Hornykiewicz, 1978; Squire, 1987; Gloor, 1997).

Definirea acestei regiuni este dificil de făcut, dar creșterea popularității termenului de lob limbic sau sistem limbic a determinat pe mulți investitori să admită aceste denumiri și concepte. Mulți protagoniști au inclus în sistemul limbic o serie de nuclee subcorticali împreună cu conexiunile lor precum și arii corticale mai vechi din punct de vedere filogenetic (girusul cinguli, girusul parahipocampic și tractusurile de asociație ale acestora). Aici au apărut dificultăți în plasarea precisă a granițelor dintre aceste formațiuni și regiunile adiacente cu care au conexiuni funcționale multiple, precum și în privința includerii cortexului frontal și a hipotalamusului. Cu toate acestea, Isaacson (1974) consideră hipotalamusul ca centru esențial al sistemului limbic. Și termenul de rinencefal este confuz. Cândva, această denumire a fost utilizată pentru desemnarea structurilor cerebrale asociate cu olfacția, dar studiile de anatomie comparată, de



dezvoltare, de fiziologie și comportamentale au schimbat această opinie. Din această cauză vom evita utilizarea termenului de rinencefal.

Componentele limbice pot fi implicate în fiziopatologia unor demențe, a unor tulburări afective și a altor afecțiuni neuropsihiatrice, precum și în multe epilepsii de lob temporal. La aproape 60% din pacienții epileptici crizele își au originea în sistemul temporolimbic iar o pătrime din aceștia sunt refractari la tratamentul medicamentos. Unele din maladiile respective au la bază modificări morfologice subtile, care pot fi diagnosticate în parte cu ajutorul tomografiei computerizate și a imagierii prin rezonanță magnetică. Pentru diagnosticarea patologiei hipocampice la pacienții cu crize parțiale complexe, refractare la tratamentul medicamentos, se impune utilizarea unei tehnici imagistice prin rezonanță magnetică cu totul aparte (Theodore, 1998).

Progresele recente ale neuroimagisticii ( Hui și colab., 1997; Byrum și colab., 1997; Shaw și Alvord, 1997; Kido și colab., 1997) au dus la creșterea paradoxală a importanței hipocampului, amigdalei și cortexului entorinal în evaluarea și tratarea celor mai comune maladii neurologice cum ar fi : crizele parțiale complexe, sindroamele paraneoplazice, encefalitele limbice, contuzia structurilor limbice, arrhinencefalia (agenezia bulbului și tractului olfactiv), holoprosencefalia (un telencefal unic și median situat în partea rostrală a SNC), cavitatea dintre cele două foițe ale septum-ului pellucidum, maladia Pick și Alzheimer, scleroza hipocampului (determinată de influența vasculară focală, traumatismele natale și postnatale, edemul cerebral, evenimentele hipoxice etc) și hipertensiunea intracraniană (dată de tumori, hematoame, abcese, edem etc.), care cauzează hernii axiale transtentoriale, hernii uncale transtentoriale sau hernii subfalcine.

Acum sistemul limbic este considerat o unitate funcțională, care poate fi cartată și cu ajutorul anticorpilor monoclonali. Acest fapt impune existența unui antigen comun printre aceste structuri variate. Din această cauză, infecțiile virale pot afecta întregul sistem limbic, iar paraneoplaziile dau așa zisa encefalită limbică.

Sistemul limbic are și receptori pentru monoamine. Astfel, în hipocamp și amigdală există o densitate crescută de receptori la serotonină.

Receptorul serotoninic 5HT-1C se află răspândit în hipocamp și plexul coroid (Azmitia și colab., 1991). Când se formează legături specifice cu acest receptor, funcțiile limbice devin mai precise. De asemenea, sistemul limbic are receptori virtuali pentru toate neuropeptidele, pentru enkefalin și pentru CRH (corticotropin releasing hormon).

Aferentele și eferentele acestor neuroni sunt foarte bogate în sistemul limbic.

Opiioidele endogene interacționează cu alte substanțe transmițătoare, una din ele fiind interleukina-1 (IL-1) De puțin timp, se știe că IL-1 are efecte cerebrale inducând unde lente de somn, apetit și febră.

Fabricată periferic, ea nu poate traversa bariera hematoencefalică, dar efectele sale asupra creierului se manifestă prin intermediul organelor circumventriculare, care permit pătrunderea unor substanțe periferice. Astfel, s-a afirmat că IL-1 beta pătrunde rar în creier pe calea organelor circumventriculare, dar neuronii acestora traduc mesajul

de fabricare a acestei citokine și neuropeptide când vin în contact direct cu cele prezente în circulația periferică. IL-1 este fabricată în creier, numai acolo unde se află receptorii acesteia. Aria cu activitate maximă este reprezentată de celulele granulare ale girusului dințat al hipocampusului și de plexurile coroide (Licinio și colab., 1991).

Efectul IL-1 ca neurotransmițător poate fi mediat, cel puțin în parte, de peptidele opioide endogene (Făgărășan, 1991). IL-1 poate suprima secreția de LH prin inhibarea releasing hormonului luteinizant (LHRH). Această inhibiție poate fi blocată de naloxonă. IL-1 și IL-6 stimulează eliberarea hormonului de eliberare a corticotropinei din hipotalamusul șobolanului pe calea eicosanoid ciclooxygenazei (Fischer, 1989). Rolul secreției hipocampale de IL-1 este speculativ. IL-1 beta inhibă pe termen lung potențarea câmpului CA3 din hipocampusul șoarecelui (Katsuki și colab., 1990).

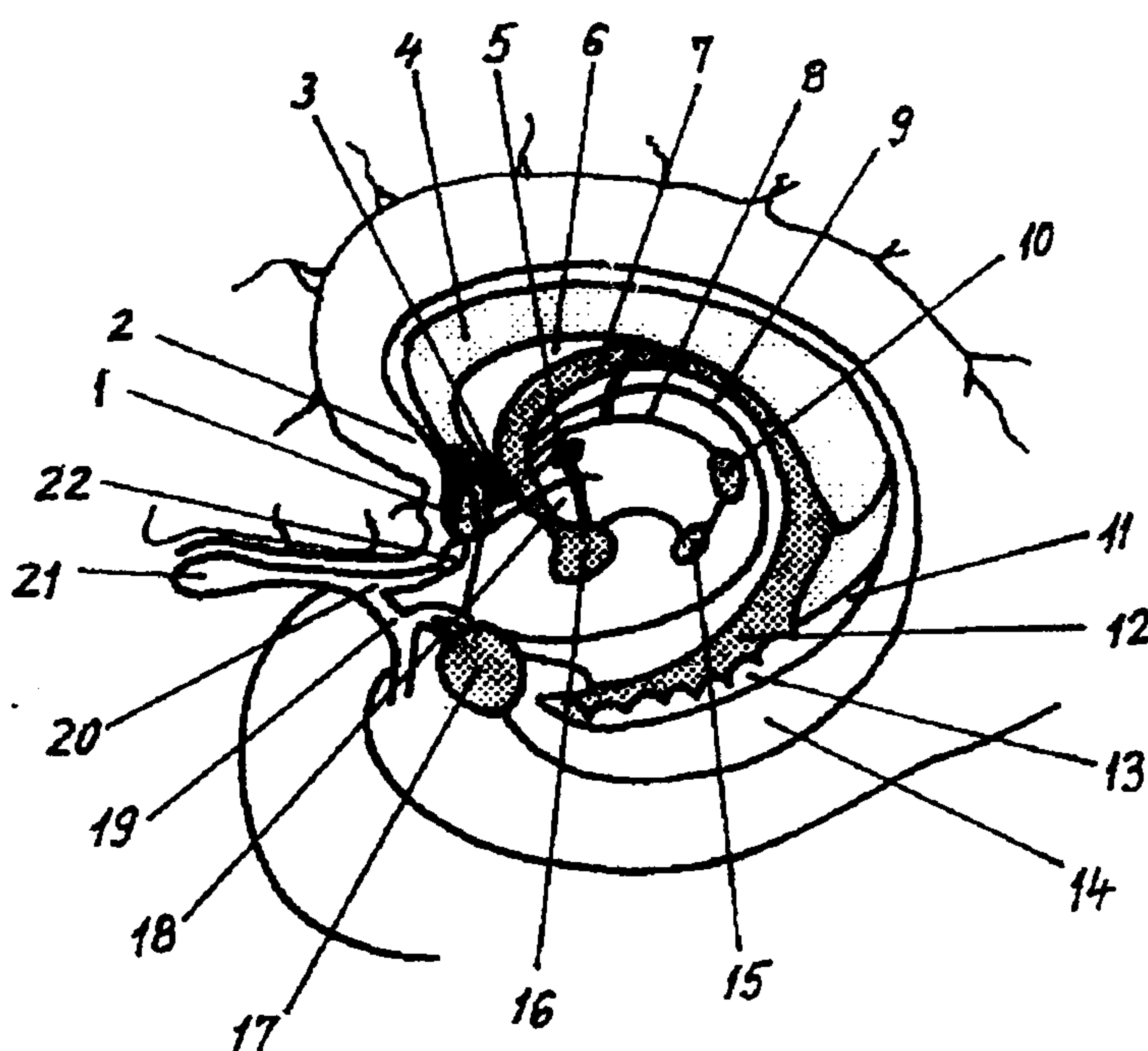
În urma studiilor amintite în sistemul limbic au fost incluse următoarele structuri (Fig. 77):

- 1) nervii, bulbul, tractul și nucleul olfactiv;
- 2) stria olfactivă medială, intermediară și laterală cu girusul olfactiv medial și lateral;
- 3) trigonul olfactiv, substanța perforată anterioară, tuberculul olfactiv și banda diagonală a lui Broca;
- 4) lobul piriform cu cortexul piriform, aria periamigdaloidă, uncusul hipocampic împreună cu girusul uncinat, coada girusului dințat (banda lui Giacomini), girusul intralimbic, aria entorinală (aria 28) și partea craniană a girusului parahipocampic;
- 5) complexul nuclear amigdaloid;
- 6) aria septală, în care sunt incluși septum pellucidum și septum verum (un complex nuclear plasat profund și parțial superficial, care corespunde girusului paraterminal);
- 7) formațiunea hipocampică, în care sunt incluse: un rudiment hipocampic, indusium griseum, stria longitudinală, girusul fasciolaris, cornul lui Ammon, girusul dințat, subiculum și regiunile cu care vin în raport;
- 8) fornixul cu variatele sale ramificații și diviziuni;
- 9) stria terminalis;
- 10) stria medularis talamică (stria habenularis);
- 11) girusul cingulat și parahipocampic;
- 12) hipotalamusul;
- 13) nucleii talamici limbici și paralimbici;
- 14) aria limbică a ganglionilor bazali;
- 15) tegmentul mezencefalic ventral împreună cu nucleii reticulari;
- 16) posibil rafeul dorsal serotonergic din mezencefal, care are 70% din terminalele sale în cortexul limbic
- 17) cortexul limbic;
- 18) cortexul paralimbic;



**Fig. 77.** Structuri rinencefalice și limbice

1. Nucleul septal; 2. Aria subcaloasă; 3. Comisura anterioară; 4. Corpul calos; 5. Nucleul talamic anterior; 6. Septul; 7. Fornixul; 8. Stria medularis; 9. Stria terminalis; 10. Nucleul habenular; 11. Girusul fascicular; 12. Fimbria; 13. Girusul dințat; 14. Formațiunea hipocampică; 15. Nucleul interpeduncular; 16. Corpul mamar; 17. Complexul amigdaloid; 18. Tractul mamilotalamic; 19. Stria olfactivă medială; 20. Stria olfactivă laterală; 21. Tuberculul olfactiv; 22. Bulbul olfactiv.



Alți autori arată că în componența sistemului limbic intră două grupe de structuri: a) grupa structurilor concentrice și b) grupa structurilor exterioare (marginale).

Din prima grupă fac parte: lobi olfactivi, substanța perforată anterioară, aria hipocampică, cortexul periamigdaloid și cortexul prepiriform.

În cadrul celei de-a doua grupe intră: circumvoluția corpului calos (cinguli), circumvoluția hipocampului, nucleele amigdaloidiene (din lobul temporal) etc., cărora li se adaugă lobul insulei, lobul orbital și partea anterioară a lobilor temporal și frontal - ca structuri ale neocortexului.

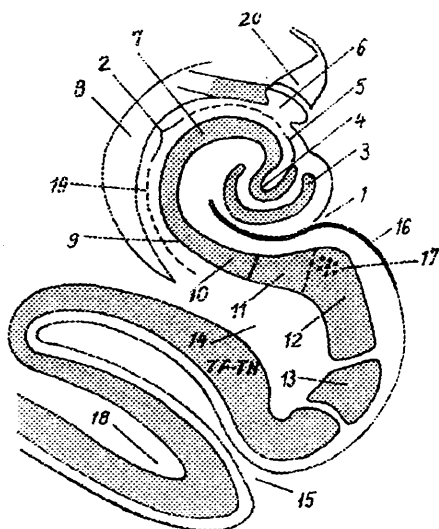
Cele mai importante structuri ale sistemului limbic sunt hipocampus și amigdala. Ambele sunt localizate în porțiunea medială a lobului temporal anterior și sunt foarte sensibile la leziuni anoxice și la infecții virale.

## Hipocampus

Hipocampus este o structură complexă care face parte din peretele medial al hemisferelor cerebrale. Nu se știe exact de ce Aranzi, anatomist din secolul al XVII-lea și contemporan cu Vesalius, a inventat termenul de hippocampus, care în limba latină înseamnă monstru sau căluț de mare. Probabil că această denumire se datorează aspectului bombat al planșeului cornului temporal care dă impresia unui monstru marin.

Studierea anatomiei hipocampusului a devenit extrem de importantă odată cu descoperirea asocierii anomaliilor structurale ale acestuia cu epilepsia de lob temporal.

Din cauza rotirii hemisferei în plan sagital, la multe specii de animale există un hipocampus dorsal și unul ventral. Partea dorsală, situată deasupra corpului calos, a regresat la om (indusium griseum). Partea ventrală de pe fața internă a lobului temporal este dimpotrivă voluminoasă (fig.78)



**Fig. 78.** Citoarhitectonica formațiunii hipocampice

1. Fisura hipocampică; 2. Cornul lui Ammon; 3. Girusul dințat; 4. CA4 (CA1-CA4= câmpuri piramidale ale cornului lui Ammon); 5. CA3; 6. Fimbria; 7. CA2; 8. Ventricul lateral; 9. CA1 (nu există limită netă între CA1 și prosubiculum); 10. Prosubiculum; 11. Subiculum; 12. Presubiculum (identificat prin prezența neuronilor mici, grupați în cuiburi la suprafața cortexului); 13. Parasubiculum; 14. Girus parahipocampic (T5); 15. Șanțul colateral; 16. Lamă medulară superficială; 17. Cale perforată; 18. A patra circumvoluție temporală; 19. Alveus; 20. Spre pilierul posterior al fornixului.

Terminologia complexă este deseori ambiguă. Din acest motiv, se utilizează termenul de formațiune hipocampică pentru a descrie un ansamblul cortical, care cuprinde schematic : 1) o structură formată din neuroni granulari, girusul dințat, reprezentând principala arie receptoare; 2) câmpurile piramidale (hipocampus propriu-zis) care reprezintă aria de conexiuni și de prelucrare; 3) în sfârșit, subiculum, care este o prelungire a câmpurilor piramidale și o sursă principală de eferențe.

Prin urmare, putem distinge în arhipalium trei zone principale așezate radial de la fisura coroidală către neopalium: girusul dințat, cornul lui Ammon și subiculum. La om, o parte din arcul hipocampic legat de peretele median și superior al corpului ventriculului lateral este redusă mult, datorită dimensiunii relativ enorme a corpului calos. Hipocampusul, situat deasupra subiculum-ului și girusului parahipocampic medial, formează o ridicătură curbă în cornul inferior al ventriculului lateral, lungă de aproximativ 5cm. Medial de sulcusul colateral, girusul parahipocampic se unește cu cortexul tranzițional al subiculum-ului, care se curbează superomedial pe suprafața inferioară a girusului dințat după care se continuă lateral cu lamina cornului lui Ammon. Aceasta se îndreaptă superior și medial deasupra girusului dințat și se termină în centrul suprafeței superioare a girusului dințat. Girusul dințat este format dintr-o bandă corticală crenelată legată inferior de subiculum, lateral de cornul lui Ammon, superior de cornul ammonian recurbat și alveus și medial de fimbria fornixului. Median, fimbria este separată de marginea crenelată a girusului dințat prin șanțul fimbriodințat.

Șanțul hipocampic se află între girusul dințat și extensia subiculară a girusului parahipocampic. Posterior, girusul dințat se continuă cu girus fasciolaris și cu indusium griseum. Anterior, se continuă în creasta uncusului, se răsuțește medial peste suprafața inferioară a acestuia sub forma cozii girusului dințat (banda lui Giacomini), după care se pierde în aspectul medial al uncusului. Coada împarte



suprafața inferioară a uncusului într-un girus uncinat anterior și un girus intralimbic posterior.

Două date morfologice principale disting hipocampul de alte cortexuri: 1) substanța albă este superficială iar substanța cenușie profundă, îmbrăcând astfel aspectul de unicortex cerebral inversat; 2) straturile granular (girusul dințat) și piramidal, în loc să fie suprapuse ca într-un izocortex, sunt separate între ele.

Câmpul piramidal al hipocampului descrie un arc de cerc cu convexitatea internă în care au fost identificate mai multe părți. Clasificarea cea mai utilizată este cea a lui Lorente de Nó (1934), care recunoaște patru câmpuri principale (de la AC1 la AC4) situate în hilul girusului dințat. Subiculum continuă fără limită netă câmpul piramidal CA1. El se prelungește cu o bandă de cortex numită presuluculum, care are un strat superficial de celule parvopiramidale, fragmentat uneori în grămezi. Substanța albă care acoperă câmpurile se numește alveus.

Ea se prelungește cu fimbria și pilierul posterior al fornixului.

Pe tot parcursul său, regiunea subiculară se întinde lateral de cele șase straturi corticale modificate ale ariei entorinale, care aparțin girusului parahipocampic. Pe traiectul său curbat, de la aria entorinală până la cornul lui Ammon, subiculum își modifică treptat structura formată din cortex cu șase straturi, în cortex cu patru straturi, ale căror conexiuni sunt diferite. Din acest motiv, el a fost împărțit în mai multe zone: parasubiculum, presubiculum, subiculum și prosubiculum.

Prosubiculum se duce în cornul lui Ammon, care este constituit dintr-un cortex primitiv trilaminar: molecular, piramidal și polimorfic.

Alte metode și criterii au permis descrierea în cornul lui Ammon a unor substraturi. Astfel, deși citoarhitectura generală a cornului lui Ammon este peste tot similară, există totuși diferențe regionale atât structurale, cât și conexionale. Datorită acestui fapt, regiunea în care este inclus cornul lui Ammon a fost împărțită de Lorente de Nó în câmpurile CA1-CA4, iar de Rose în câmpurile hipocampale H1-H5. Aria CA1 (sectorul Sommer) este cea mai sensibilă la hipoxie și poartă numele de sector vulnerabil.

CA2 și CA3 (sectorul Spielmeyer) sunt cunoscute ca arii rezistente, iar aria CA4 (sectorul Braty), adiacentă girusului dințat, are o vulnerabilitate medie.

După Cajal, cornul lui Ammon are, pornind din spre ventricul, următoarele straturi: 1) endimar, 2) alveus, 3) stratum oriens, 4) stratum pyramidalis, 5) stratum radiatum, 6) stratum lacunosum. 7) stratum molecularae. Mulți grupează ultimile două în stratum lacunosum-molecularae.

Alveus este un strat de fibre subependimal, care intră și pleacă din hipocamp. Fibrele eferente, formate predominant din axonii neuronilor mari ai stratului piramidal și din axonii unui număr mic de celule din stratum oriens și girusul dințat, constituie componenta fimbriei și fornixului. Aferențe din alte regiuni, în care sunt incluse fibrele comisurale din partea opusă a formațiunii hipocampice ajung la păturile celulare ale hipocampului prin alveus.

Stratum oriens este întretesut de axonii și colateralele fibrelor care intră și părăsesc hipocampul. El este penetrat și de dendritele bazale ale neuronilor piramidali mari din pătura adiacent, care mai conține celule somatice și dendrite aparținând

neuronilor piramidali mici, neregulați. Unele numite celule „în coș”, par a fi interneuroni inhibitori ce formează sinapse axosomatice și axodendritice cu colateralele aferente ce sosesc la hipocamp și cu fibrele aferente. Axonii acestor interneuroni penetrează straturile molecular și radiant, făcând sinapsă prin contacte axodendritice cu celulele piramidale. Totuși, cele mai distinctive terminale sunt cele ale celulelor sub formă de coș, care formează numeroase sinapse axosomatice pe soma neuronilor piramidali.

*Stratum pyramidalis* conține două pături, bine definite, de neuroni piramidali mari și mici. Baza lor este îndreptată spre *stratum oriens* și *alveus*, iar vârful lor este direcționat către *stratum radiatum*.

Axonii celulelor piramidale ies din baza lor, trec în *alveus* unde dau colaterale, după care se continuă în *fimbria*. Unele din aceste colaterale se termină pe celulele *stratului oriens*, dar multe (colateralele Schaffer) se duc în *stratul molecular*, terminându-se pe dendritele apicale ale celulelor piramidale adiacente. Arborele dendritic al celulelor piramidale are două părți: bazală și apicală.

Dendritele bazale radiază în apropierea păturii piramidale, dar majoritatea trec în *stratul oriens*, acoperă *alveus-ul* și sunt înconjurate de spinii dendritici.

Dendritele apicale se duc profund, unde împreună cu axonii de asociație și câteva celule piramidale constituie *stratum radiatum*.

Ajunșând în *stratum lacunosum-moleculare*, ramurile dendritelor apicale profunde și ramurile terminale împreună cu trunchiul dendritelor lor sunt de asemenea acoperite de spinii dendritici. Astfel, cele mai profunde straturi conțin dendritele terminale ale celulelor piramidale, axonii terminali aferenți hipocampului, colateralele recurente menționate mai sus și arborizații somatice și axonale ale interneuronilor împrăștiați profund. Arborele dendritic piramidal primește terminații axonale distincte. Astfel, fibrele din regiunile corespunzătoare ale hipocampului opus, se termină pe dendritele bazale, iar cele provenite din regiuni necorespunzătoare se termină pe dendritele apicale din *stratum lacunosum* și *stratum moleculare*. Aferențele din cortexul entorinal fac sinapse cu multe ramuri terminale ale dendritelor apicale din *stratul molecular*, terminațiile sinaptice ale colateralelor lui Schaffer fiind în *stratum lacunosum*. Fibrele celulelor girusului dințat formează terminale sinaptice mari, în care sunt incluși spinii dendritici proeminenți ai dendritelor apicale din *stratum radiatum*, iar terminalele celulelor în formă de coș alcătuiesc un sistem dens de sinapse axosomale. Aceste variații zonale ale terminațiilor axonale au fost corelate cu variația înregistrărilor realizate cu ajutorul microelectrozilor la diferite profunzimii din conul lui Ammon (Andersen și colab., 1966).

Multe aferente și celule piramidale sunt excitatoare, în timp ce unii interneuroni și în special celulele „în coș”, sunt inhibitoare.

*Girusul dințat* este considerat o structură corticală trilaminară.

Extins profund din sulcusul hipocampic el se compune din următoarele straturi:

1) un strat molecular superficial, 2) un strat granular intermediar, 3) un strat polimorf profund. Tipurile celulare ale acestor structuri au arborizații dendritice care radiază local sau traversează *stratul superficial*. Ele primesc terminale sinaptice de la unele surse hipocampice extrinseci, dar și de la neuronii din apropiere.

Unele celule sunt neuronii de tip Golgi II cu axoni locali, în timp ce altele au axoni mai lungi, care după emiterea unor ramuri colaterale se alătură fibrelor din



fimbria. Totuși, cele mai caracteristice, sunt așa-numitele mossy fibres (fibre mușchiulare) care iau naștere din celulele păturei granulare, după care trec prin pătura polimorfă, unde dau colaterale neuronilor de la acest nivel. Apoi, după un traiect curb, trec în pătura superficială a lui stratum radiatum din cornul ammonian, unde fac o serie de sinapse gigante cu spini pe segmentul inițial al dendritelor piramidale apicale.

Structurile olfactive (nucleul olfactiv anterior, tuberculul olfactiv, cortexul piriform, regiunea cortico-medială a nucleului amigdalian) închid anterior inelul format din hipocamp și girusul cingular și constituie împreună cu ele marele lob limbic. El cuprinde un ansamblu de structuri considerate mai puțin diferențiate (paleocortex), în care laminarea este mai puțin evidentă. Ele sunt situate în partea mediană a feței orbitare a lobului frontal, în partea mediană a lobului temporal și în regiunea de trecere între lobii frontal și temporal.

Este în general acceptat faptul că hipocampul este implicat în achiziționarea memoriei noi, proces care poartă numele de encodare.

Hipocampul are numeroase aferențe și un singur sistem eferent -fornixul- ce se termină în corpii mamilari ai hipocampului. Corpii mamilari au proiecții cerebrale difuze.

După Amarel și Insanti (1990), cortexul entorinal și regiunea paralimbică sunt principalele aferente ale hipocampului.

Fibrele de origine entorinală constituie calea perforantă, care se termină pe dendritele neuronilor granulari ai girusului dințat și pe CA1. Un lanț de sinapse leagă neuronii granulari de CA3 și CA3 de CA1.

Teoretic, toate inputurile sale senzoriale sunt paralimbice. Datorită acestora apare și componenta motivațională pentru învățare. Principalele căi aferente ale hipocampului își au originea în subiculum și, într-o măsură mai mică, în CA3 și CA1; fasciculele lor mielinizate, ce formează alveus-ul, tapetează suprafața ventriculară a hipocampului. Aceste fascicule se prelungesc în cavitatea ventriculară unde constituie fimbria, care se continuă cu pilierii fornixului.

Pilierul anterior dă fibre nucleilor septului (fornix precomisural) după care ajunge (fornix postcomisural) în corpul mamilar. Acesta din urmă emite fasciculul mamilo-talamic Vicq d'Azir în direcția nucleului anterior al talamusului. Acesta este legat de circumvoluțiunea cingulară traversată de cingulum, care continuă în girusul parahipocampic.

Ansamblul hipocamp, pilierii fornixului, corpul mamilar, nucleul talamic anterior și circumvoluția cingulară sunt desemnate sub numele de circuitul Papez.

După Duyckaert și Hauw (1996) distrugerea subiculum-ului provoacă, la om, atrofia pilierilor fornixului și a corpului mamilar. Căi, probabil semnificative din punct de vedere funcțional, leagă hipocampul de cortexurile adiacente. Cortexul entorinal proiectează în cortexul peririnal, temporopolar și pe partea posterioară a girusului parahipocampic, el însuși fiind conectat la principalele arii asociative.

Formațiunea hipocampică și cortexul entorinal se află în centrul unei rețele complexe de conexiuni cu ariile asociative multimodale, pe de o parte, și cu nucleii subcorticali, pe de altă parte (Amaral și Insanti, 1990).

Proiecțiile indirecte, stabilite prin intermediul fornixului ajung la aria preoptică medială, la hipotalamusul anterior, la aria hipotalamică laterală, la aria

tegmenală ventrală și la substanța cenușie centrală a mezencefalului (Mac Lean, 1990). Există totuși și câteva eferente hipocampice directe îndreptate către amigdală și sept.

La maimuța Rhesus, eferentele hipocampice au o arie largă de răspândire în cortexul cerebral și amigdală. Aceste fibre, dar în special cele din amigdală și din cortexul piriform, trec în zona limbică contralaterală prin comisuri. Din această cauză, unele afecțiuni limbice unilaterale se pot propaga în oglindă la nivelul hemisferei contralaterale.

Deși hipocampusul a fost implicat în emoție, deci în reglarea autonomă, imună și endocrină, funcția sa principală se manifestă în domeniul memoriei. Distrugerea bilaterală a hipocampusului la om provoacă amnezie anterogradă durabilă și profundă.

Anxietatea poate fi mediată de hipocampusul dorsal prin circuitul septo-hipocampic, fapt dovedit cu ajutorul diazepamului și tandospironei (antagoniști ai 5HT-1A), care injectate în hipocampusul dorsal determină efecte antianxioase (Kalkman și Fozard, 1991). Hipocampusul a fost implicat și în depresia pacienților vârstnici, la care imaginea rezonanței magnetice a relevat o scurtare semnificativă a timpului de relaxare a rețelei spinului T1 (Krishnan și colab., 1991).

### Sistemul hipocampic și memoria

Hipocampusul împreună cu amigdala constituie miezul sistemului limbic.

Ele reprezintă cele mai remarcabile structuri allocorticale din creierul uman. Hipocampusul este conectat direct și indirect, în sens aferent și eferent cu variate părți ale creierului putând fi considerat astfel centrul unui sistem mai extins. Patternul conexiunilor sale și unele proprietăți fiziologice fac din el un candidat eminent pentru substratul anumitor forme de memorie și de învățare. Acest rol a fost demonstrat atât experimental, cât și clinic. Cu toate acestea legitimitatea conceptului de sistem hipocampic ridică numeroase probleme din cauza limitelor sale rău definite și arbitrare.

Unii din constituienții săi sunt componente ale altor sisteme. Din această cauză, este bine să privim hipocampusul ca o comunitate de arii anatomice și funcționale legate de numeroase aspecte ale memoriei și învățării.

Organizarea intrinsecă și extrinsecă implică sistemele derivate din conexiunile aferente și eferente ale hipocampusului. Cele două părți aferente și eferente ale curenților centrate pe hipocampus sunt corticale sau subcorticale.

La primate, conexiunile corticale direcționate către izocortexul asociativ al lobilor temporal, parietal și frontal sunt mediate predominant, în ambele direcții, de cortexul entorinal și de complexul subicular pentru partea eferentă.

Conexiunile corticale aferente cortexului entorinal provenite din arii corticale asociative multimodale legate anatomic și funcțional de cortexul entorinal, sunt constituite din aria parahipocampică și cortexul peririnal. Ultimile două regiuni și chiar cortexul entorinal pot fi privite ca părți ale cortexului temporal asociativ



multimodal (Gloor, 1997). Totuși, atribuirea acestora mai mult sistemului hipocampic decât cortexului de asociație este oarecum arbitrară.

Leziunile experimentale au demonstrat că aceste regiuni corticale, strâns legate de hipocamp, reprezintă substratul anatomic principal al memoriei declarative.

Sistemul hipocampic are cinci conexiuni subcorticale principale: a) cu amigdala (aceste legături reciproce, asemănătoare cu cele corticale, sunt directe sau mediate prin cortexul entorinal; b) cu septumul precomisural (legături reciproce); c) cu nucleii talamici mediodorsal, anterior și de linie mediană; d) cu hipocampul și trunchiul cerebral (larg reciproce), cele mai remarcabile fiind legăturile cu nucleii mamilari și e) cu striatum și claustrum.

Funcția sistemului hipocampic este legată de memorie. La om, sindromul amnestic clasic a contribuit în mare măsură la înțelegerea bazei neurobiologice a tulburărilor de memorie. Acest sindrom are următoarele caracteristici: pacientul nu poate înregistra în memorie stimuli sau evenimente explicate, conștiente, dar capacitățile sale intelectuale, funcțiile limbajului, atenția și memoria imediată sunt păstrate. Această stare de amnezie anterogradă severă este asociată cu grade limitate și variabile de amnezie retrogradă. Sindromul amnestic clasic apare după lezarea bilaterală a sistemului hipocampic. El poate fi funcțional, tranzitor sau organic constituit. După Jarrard (1993) funcția specifică a hipocampului este aceea de a prelucra semnalele de origine corticală și de a crea o hartă cognitivă. La animale este aproape singura formațiune legată de memorie și învățare allocentrică spațială. Memoria și învățarea nonspațială nu depind de hipocamp. Aceste date au fost confirmate experimental de Jarrard (1993) prin lezarea strict limitată bilaterală, a hipocampului, cu ajutorul microinjecțiilor cu acid ibotenic. Acidul ibotenic este un agent citotoxic care distruge numai corpul celulelor lăsând intacte fibrele cum ar fi cele ale alveusului și fimbrii, care trec prin hipocamp. Aceste leziuni care au distrus neuronii hipocampului și pe cei ai girusului dințat lăsând intacte structurile corticale adiacente ale subicului, ale formațiunii entorinale și ale parahipocampului au provocat, la șobolani, deficite limitate numai la contextul spațial al memoriei și învățării.

Leziunile bilaterale făcute prin aspirație cuprind hipocampul, subiculum, păturile profunde ale izocortexului, cortexul entorinal și girusul cinguli. De asemenea, au fost găsite degenerări și la nivelul fornixului pre- și postcomisural (Jarrard și Davidson, 1991).

Extirparea amigdalei și a cortexului din jur nu produce nici un deficit al memoriei de localizare a obiectelor (Parkinson și colab., 1988).

Prin urmare, lezarea hipocampului nu afectează harta cognitivă așa cum a afirmat O'Kufe și Nadel (1978).

Rolul cortexului entorinal în învățarea spațială este controversat (Cho și colab., 1993; Jarrard, 1993).

Cumings și colab (1984) au descris un pacient, care după un stop cardiopulmonar a rămas cu un sindrom amnestic. Amnezia anterogradă și retrogradă afecta atât informațiile nonverbale (inclusiv pe cele spațiale), cât și pe cele verbale.

La cinci ani de la accidentul acut, pacientul a decedat, iar la examinarea creierului s-a constatat o pierdere aproape completă a celulelor piramidale din hipocamp. Girusul dințat, subiculum, girusul parahipocampic, cortexul entorinal și substanța albă adiacentă au fost normale.

Victor și Agamanolis (1990) au raportat cazul unui pacient cu status epilepticus sever, după care a rămas cu amnezie severă pentru următoarele 30 de luni de viață. Examinarea postmortem a creierului a relevat reducerea la jumătate a hipocampului și pierderi celulare severe în sectoarele CA1, CA2, CA3 și CA4. Subiculum, cortexul entorinal, alveusul, fimbria, nucleii mamilari, tractul mamilo-talamic și nucleii septali au fost normali.

Cazul lui Zola-Morgan și colab., (1986) este mai instructiv în privința rolului hipocampului și memorie. După un episod ischemic sever pacientul a rămas cu amnezie anterogradă marcată și cu mici deficite de memorie retrogradă. Deficitul a fost strict limitat la memorie fără a afecta altă sferă cognitivă. El a supraviețuit 5 ani, iar examinarea postmortem a creierului a arătat o pierdere neuronală bilaterală completă în sectorul CA1 al hipocampului. Această pierdere era extinsă de-a lungul întregului ax hipocampic. Subiculum, sectorul CA3, și celulele granulare dințate, cortexul entorinal, nucleii mamilari, nucleul talamic mediodorsal, fornixul și tractul mamilo-talamic au fost normali. Acest caz este instructiv deoarece demonstrează că sindromul amnestic poate fi produs de pierderea neuronală bilaterală din sectorul CA1. Aceasta implică interacțiunea hipocampului cu cortexul cerebral.

Deficitul de memorie implică în mod clar informațiile nonspațiale, în particular verbale. Aceste observații vin în acord cu datele experimentale de la maimuță și șobolan, care arată că pierderile celulare ischemice limitate la sectorul CA1 cauzează deficite de memorie nonspațială și că aceste deficite sunt proporționale cu gradul pierderilor neuronale din CA1 (Zola-Morgen și colab., 1992 -la maimuță; Wood și colab., 1993 -la șobolan). De aici se poate trage concluzia că la om, rolul hipocampului nu este limitat la memorie spațială și contextuală ca la șobolan. Este posibil ca hipocampul uman să aibă funcții în plus, sau șobolanul să nu fi fost investigat complet.

Recent, Frisoni și colab. (1999), cu ajutorul imaginerii prin rezonanță magnetică, au demonstrat că: 1) în demența frontotemporală (DFT) hipocampul și cortexul entorinal (CER) prezintă atrofii; 2) atrofia hipocampului este mai puțin severă în DFT decât în boala Alzheimer (BA) dar atrofia CER prezintă același grad de severitate în ambele afecțiuni, 3) atrofia hipocampului și a CER este direct proporțională cu severitatea demenței de la ambele grupe de pacienți, și 4) nici atrofia hipocampului și nici cea a CER nu prezintă particularități deosebite care să ducă la discriminarea pacienților cu DFT de subiecții de control, în timp ce volumul hipocampic poate diferenția pacienții BA de subiecții de control cu o sensibilitate remarcabilă.

Datele de mai sus arată că atrofia hipocampică detectabilă in vivo, nu apare în faza precoce a DFT dar ea confirmă BA.



## Leziunile fornixului și pierderea memoriei

Fornixul este calea eferentă a hipocampului. Fibrele acestuia sunt continuarea, în principal, a axonilor celulelor piramidale din cornul Ammon. Ele trec prin alveus după care străbat marginea medială a suprafeței ventriculare pentru a forma deasupra girusului dințat o bandă aplatizată denumită fimbria (în limba latină înseamnă margine, bordură). Fimbria trece apoi posterior, pe sub splenium-ul corpului calos, pentru a forma fornixul.

Din studiile experimentale făcute pe animale au fost fixate următoarele caracteristici ale acestei formațiuni anatomice (Gloor, 1997):

1) Fornixul este o cale heterogenă. Fibrele sale transportoare interconectează hipocampul, complexul subicular și o parte din cortexul entorinal, cu septul, hipotalamusul și trunchiul cerebral.

2) Fornixul conectează complexul subicular și într-un grad mai mic cortexul entorinal, cu nucleul accumbens, cu nucleii talamici anteriori și cu nucleul talamic laterodorsal. Hipocampul propriu-zis nu contribuie la formarea acestor proiecții dar primește inputuri de la aceste structuri.

3) Unul din constituenții principali ai fornixului este format din proiecțiile, care pornesc de la complexul subicular și ajung la nucleii mamilari. Hipocampul propriu-zis nu contribuie la aceste proiecții.

4) O parte din fibrele fornixului trec prin fornixul supracomisural (supracallosal, dorsal), unde sunt inclavate în striae Lancisi din indusium griseum al corpului calos și în cingulum. Acestea pot, sau nu pot fi implicate în tehnica de lezare, care vizează întreruperea fornixului sau a coloanelor sale. Prin urmare, întreruperea traficului semnalizator din fornix poate fi mai mult sau mai puțin completă.

5) Cortexul entorinal și partea adiacentă ventrală din subiculum și hipocamp (la primate corespunde cu porțiunea sa uncală) au o cale alternativă către sept, formată din talamus, hipotalamus (exceptându-se nucleii mamilari) și trunchiul cerebral, care trece prin ansa peduncularis. Secționarea fornixului lasă liberă această cale.

Având în vedere datele de mai sus se poate afirma că lezarea fornixului poate produce următoarele deficite funcționale semnificative (Gloor, 1997):

1) Deaferentarea hipocampului și a celei mai mari părți a complexului subicular de inputurile colinergice și monoaminergice plecate de la sept și trunchiul cerebral. Aici apare o deaferentare numai parțială și minoră a cortexului entorinal de aceste surse

2) Întreruperea conexiunilor hipocampului cu hipotalamusul (în particular cu regiunea supramamilară).

3) Întreruperea conexiunilor complexului subicular cu nucleii mamilari.

4) Nu apare nici o disconexiune a hipocampului și a complexului subicular din cortexul cerebral restant, deoarece conexiunile aferente și eferente ale cortexului cerebral cu hipocampul sunt mediate de ariile corticale temporale mediale, care rămân intacte.

Acest ultim punct are o importanță crucială, deoarece arată că indiferent de afectarea memoriei care rezultă din afectarea fornixului, leziunea nu poate fi raportată la întreruperea căilor de comunicare dintre hipocamp și cortexul temporal medial cu restul cortexului cerebral.

Atunci care este cauza deficitului de memorie la animalele cu leziuni de fornix?

Un factor important este acela că leziunile respective împiedică sistemul colinergic și monoaminergic de a-și exercita acțiunea asupra neuronilor hipocampului. Deși aceste efecte nu sunt implicate direct în transferul informației specifice, sunt totuși esențiale pentru prelucrarea de către neuronii hipocampului a semnalelor de origine corticală. Hipocampul și subiculum sunt puși în imposibilitatea funcționării lor normale dacă sunt privați de aceste inputuri. Deoarece cortexul entorinal primește majoritatea inputurilor colinergice și monoaminergice prin ansa peduncularis, efectele deaferentării inputurilor colinergice și monoaminergice se răsfrâng, foarte probabil, asupra hipocampului și subiculum-ului.

Întreruperea conexiunilor mamilare, talamice și striatale (nucleus accumbens) afectează probabil în mod primar subiculum.

Putem presupune atunci că deficitele de memorie, care rezultă din lezarea fornixului, reflectă inactivarea funcțională a hipocampului și subiculum-ului, dar nu a cortexului temporal medial adiacent, care include cortexul entorinal (Gloor, 1997). Se presupune că efectul principal al lezării fornixului se reflectă asupra memoriei și învățării spațiale, în timp ce memoria de recunoaștere nu este afectată sau este puțin interesată (O'Keefe și Conway, 1980); Murray și colab., 1989; Aggleton și colab. 1991 și 1992; Aggleton și Sahgal, 1993).

Situația este mai puțin clară cu memoria de recunoaștere.

Bachevalier și colab. (1985) au constatat că deficitul moderat de memorie de recunoaștere apărut după fornicotomie a fost transformat în unul sever după secționarea bilaterală și a căilor amigdalofugale, leziune care prin ea însăși nu cauzează deficite apreciabile de memorie.

Deoarece, observațiile recente au demonstrat că nu amigdala ci cortexul peririnal și entorinal este important pentru susținerea acestei forme de memorie, pare probabil că efectul leziunilor combinate ale acestor două căi poate fi explicat pe baza căilor amigdalofugale (ansa peduncularis), care conțin fibre ce conectează cortexul entorinal și peririnal cu nucleul talamic mediodorsal.

Secționarea acestui contingent de fibre duce la exacerbara deficitului moderat produs numai de secționarea fornixului. Prin urmare, performanța sarcinilor de recunoaștere poate fi menținută la un nivel aproape normal de către una din căi, dar secționarea ambelor provoacă deficite semnificative.

Formele memoriei de recunoaștere vizuală nu sunt afectate de leziunile fornixului (Zola-Morgan și colab., 1989). Când memoria de recunoaștere vizuală este testată în scene naturaliste transecțiunea fornixului produce deficite.

Gaffan și Harrison (1989) au ajuns la concluzia că deficitele rezultate din lezarea fornixului nu pot fi atribuite simplist deficitului memoriei de recunoaștere



sau memoriei spațiale prin faptul că stocarea stimulilor vizuali și spațiali se face împreună, instantaneu ( Snapshot memory - memorie instantanee). Acest punct de vedere relevă importanța formațiunii hipocampice în encodarea relației dinter stimuli ((Eichenbaum și colab. 1992).

### **Efectele lezării fornixului la om**

Efectele transecțiunii fornixului asupra memoriei, la om, reprezintă subiecte de controversă. Primii neurochirurghi care au intervenit asupra tumorilor de ventricul trei au raportat că fornicotomia nu provoacă deficite de memorie (Dott, 1938; Cairns și Masberg, 1951).

Revizuiind literatura asupra acestui subiect, Garcia-Bengochea și Friedman (1987) au ajuns la concluzia că secționarea chirurgicală sau stereotaxică a fornixului, în afara tumorilor de ventricul trei, nu cauzează deficite de memorie. Dar nici această ultimă operație nu afectează totdeauna memoria. Totuși, când Gaffan și Gaffan (1991) au reexaminat aceste evidențe, au ajuns la altă concluzie. Ei au relevat că la toate cazurile revăzute de Garcia Bengochea și Friedman (1987), unde se pretinde că fornixul a fost secționat fără a determina deficite de memorie, transecțiunea fornixului a fost incompletă sau neverificată, iar funcția memoriei a fost evaluată inadecvat. Ei au ajuns la concluzia că la toți bolnavii la care secțiunea bilaterală a fornixului a fost sigură, iar examinarea clinică a memoriei a fost adecvată, fornicotomia a fost urmată de amnezie. Totuși, această amnezie poate fi moderată din cauza procedeeelor chirurgicale care interesează numai o parte din sistemul fornixului.

Au existat și fornicotomii unilaterale urmate de deficite mnezice (Cameron și Archibald, 1981; Carmel, 1985; Gaffen și colab., 1991; Hodges și Carpenter, 1991), dar la acești pacienți, fornixul a fost abordat transcalos. Acest abord transcalos deschis poate cauza lezarea fornixului dorsal ale cărui fibre trec în indusium griseum prin striae lancisi și prin cingulum. Mai mult, în astfel de cazuri se poate produce lezarea inadecvată și a fornixului contralateral. În cazul extirpării chiștilor coloizi de ventricul III, fornicotomia unilaterală produce deficit de memorie din cauză că adesea se incizează și septum pellucidum, care conține fibre ale fornixului dorsal, care descind prin el. Apoi, înlăturarea chiștilor coloizi duce la lezarea nucleului talamic anterior. În cazul abordului stereotaxic fornicotomia unilaterală nu produce tulburări de memorie din cauza lezării parțiale a acestuia.

Din observațiile chirurgicale nu putem trage concluzii certe, deoarece în afara cazului lui Hessler și Riechert (1957) nu există verificări postmortem privind extinderea leziunii.

În cazul fornicotomiilor unilaterale, deficitele de memorie se datorează lezării și altor structuri cum ar fi fornixul contralateral, fibrele fornixului dorsal supracalose sau din septum pellucidum și nucleului talamic anterior.

Gaffan și colab. (1991) au studiat în mod sistematic tulburările de memorie date de fornicotomie și au constatat că amnezia produsă de această leziune

afectează materialul verbal și nonverbal, moderat dar invalidant. Lezarea coloanelor fornixului posterior de partea stângă dă deficite de memorie verbală, care ca proporție este departe de cea apărută după lobectomiile temporale stângi cu extirpări hipocampice întinse. Această severitate mărită a deficitului s-ar datora secționării comisurii hipocampice dorsale.

După lobectomia temporală stângă, o parte din aceste căi comisurale rămân intacte, în special cele care transportă semnalele din partea posterioară a presubiculum-ului și a girusului parahipocampic către regiunea temporală medială contralaterală. Astfel, în lobectomiile temporale cu extirpări hipocampice întinse, unele informații verbale pot avea acces la sistemul hipocampic drept prin această cale comisurală. În cazul secționării sau distrugerii complete a comisurii hipocampice dorsale din regiunea splenială acest schimb informațional nu mai are loc. Velensetin și colab. (1987) sugerează că leziunile spleniale prin afectarea cortexului retrosplenial pot accentua deficitul de memorie deoarece acest cortex reprezintă o legătură intermediară reciprocă între subiculum și nucleul talamic anterior (Rosene și van Hoesen, 1977).

## Amigdala

Aceasta este unica structură din zona limbică ce stabilește conexiuni directe cu alte arii corticale, cu hipocampusul, talamusul, striatul și cu regiunile preganglionare ale trunchiului cerebral.

Situat în polul temporal, nucleul amigdalian este compus din două părți: o parte cortico-medială cu structură laminară și o parte latero-bazală, foarte dezvoltată la primate, a cărei origine este comună cu cea a striatului. De partea corticomedială este atașat un nucleu central de talie mică.

Amigdala este situată la încrucișarea unor importante fluxuri informaționale, care vin și pleacă de la cortexul cerebral sau de la structurile subcorticale și care sunt implicate în controlul funcțiilor autonome și endocrine.

La primate, amigdala primește inputuri masive de la cortexul asociativ, cingulat, insular, frontal și temporal (Amaral și colab., 1992) și trimite proiecții întinse către aceste arii și către cortexul vizual primar și peristriat (Amaral, 1986; Iwai și Yukie, 1987). Amigdala este interconectată reciproc cu hipocampusul, în parte, prin intermediul cortexului entorinal (Insausti și colab., 1987 și 1995; Saunders și colab., 1988).

La mamiferele neprimare există inputuri profuze de la sistemul olfactiv și de la sistemul olfactiv accesoriu care ajung la nucleii amigdaloiizi profunzi. La primate acestea sunt foarte reduse (van Hoesen, 1981).

În plus, amigdala are conexiuni unidirecționale cu nucleul talamic mediodorsal, care la rândul său stabilește legături indirecte cu cortexul frontal (Russchen și colab., 1987). Proiecțiile corticale ale amigdalei primatelor, în particular cele cu cortexul asociativ, sunt mult mai extinse decât cele de la mamiferele neprimare.



Conexiunile bidirecționale ale amigdalei cu cortexul asociativ și cu hipocampusul prezintă importanță pentru procesele cognitive înalte, care fragmentar sunt evocate în cursul epilepsiei temporale.

Și conexiunile subcorticale ale amigdalei au o extindere largă bidirecțională. Ea primește aferente de la hipotalamus și de la nucleii inferiori ai trunchiului cerebral legate de funcțiile gustative și viscerosenzoriale (Kapp și colab., 1989), precum și de sistemul auditiv (Le Doux și colab., 1985, 1990). Studiile neuroimagingistice recente efectuate de Morris și colab. (1999) au relevat răspunsuri amigdalene diferite la stimulii emoționali marcați (nevăzuți). Până la acea data nu se știa modul în care semnalele vizuale ale stimulilor nevăzuți ajung la amigdală. O cale posibilă subcorticală în care sunt implicați coliculul superior și pulvinarul, a fost sugerată prin observarea pacienților cu leziuni ale cortexului striat care păstrează abilitatea de a determina și localiza stimulii vizuali care nu sunt percepuți în mod conștient (blindsight- vedere oarbă). Morris și colab. (1999) au utilizat măsurători ale activității amigdalei drepte la subiecții voluntari care priveau fețe marcate condiționate la furie, pentru a determina dacă respectiva cale coliculo-pulvinară a fost angajată în timpul prelucrării acestor ținte stimul, nevăzute. Atunci autorii au relevat existența unei legături crescute între amigdala dreaptă, pulvinar și coliculul superior, care a devenit evidentă când fețele condiționate la furie, teamă nu erau văzute. În aceleași condiții, conexiunea amigdalei drepte cu cortexul orbito-frontal și fuziform diminuau. Dimpotrivă, amigdala stângă, a cărei activitate nu discriminează țintele văzute de cele nevăzute condiționate la furie, nu manifestau nici o modificare dependentă de mascare la nivelul coliculului superior sau a pulvinarului.

Aceste rezultate sugerează că, în paralel cu calea corticală necesară pentru identificarea vizuală conștientă acționează și o cale subcorticală care ajunge la amigdala dreaptă via mezencefal și talamus pentru prelucrarea evenimentelor vizuale nevăzute dar relevante din punct de vedere comportamental. Este susținută și ipoteza conform căreia unele caracteristici relevante din mediul vizual înconjurător pot fi detectate și prelucrate, fără participarea conștiinței, de către calea coliculo-pulvinaro-amigdaliană dreaptă care controlează și răspunsurile autonome reflexe. Percepția vizuală conștientă (detecția explicită) a acelorași stimuli implică arii corticale specializate ca de pildă girusul fuziform și polul temporal. Prelucrarea de către aceste regiuni corticale este asociată cu analiza detaliată a scenelor vizuale principale în scopul categorizării și angajării lor în procesul limbajului.

Amigdala este legată prin conexiuni reciproce de formațiunea hipocampică și de cortexul entorinal. Ea dă naștere la două proiecții eferente (descendente) majore : a) stria terminalis, care ajunge la hipotalamus după un traiect arciform în cavitatea ventriculară și b) calea amigdalofugală ventrală, care trece pe sub nucleul lenticular și ajunge în nucleul dorsomedian din talamus.

Stria terminalis inervează nucleul pat al striei terminalis, nucleul accumbens și hipotalamusul. Calea amigdalofugală ventrală furnizează inputuri hipotalamusu-

lui, nucleului medial ventral al talamusului și părții rostrale a girusului cinguli. La rândul său, amigdala primește o aferență importantă de la sistemul olfactiv și inputuri prin alte sisteme aferente. Ulterior, s-a constatat că fornixul are legături cu corpii mamilari și cu alte arii ale hipotalamisului, iar hipotalamusul prezintă conexiuni reciproce cu cortexul prefrontal. Prin urmare, partea sa cortico-medială are conexiuni cu bulbul olfactiv, cu hipotalamusul și cu nucleii viscerali ai trunchiului cerebral, iar partea sa latero-bazală este conectată cu nucleul dorsomedian al talamusului, el însuși în raport cu cortexul prefrontal. Au fost descrise, de asemenea, aferențe provenite din girusul cingular anterior, din cortexul orbital și din lobul temporal.

În ciuda numeroaselor inputuri olfactive, amigdala nu reprezintă o structură esențială pentru discriminarea olfactivă. Proiecțiile amigdale de eferență către structurile subcorticale sunt direcționate către nucleul talamic medio-dorsal, aria preoptică, hipotalamus (Price, 1986), (regiunea nucleului ventromedial al hipotalamusului), nucleul accumbens al striatului ventral (Aggleton și colab., 1987), porțiunea magnocelulară a nucleului telencefalic bazal (Aggleton și colab., 1987) trunchiul cerebral inferior (complexul vagal) și către neuronii care controlează mișcărilor masticatorii (Hopkins și colab., 1981; Takeuchi și colab., 1988).

Paternalul conexiunilor amigdalei umane pare a fi similar cu cel al primatelor.

În final se pune problema dacă nu cumva amigdala are acces și la sistemul motor. Amaral (1990) afirmă că nu există proiecții directe către cortexul motor, astfel încât răspunsurile comportamentale inițiate de activitatea amigdaloidă, care implică cortexul motor au acces la această formațiune prin numeroase legături intermediare.

O altă cale direcțională către sistemul motor este realizată de conexiunile substanței cenușii ale nucleului accumbens din striatul ventral.

O conexiune interesantă cu porțiunea specializată a sistemului motor este reprezentată de legătura amigdalei cu centrul masticator al trunchiului cerebral (Takeuchi și colab., 1988) implicat în mișcările masticatorii întâlnite atât de frecvent în automatismele de lob temporal.

Prin urmare, complexul amigdalian se compune din numeroși nuclei, iar majoritatea proiecțiilor către neuronii autonomi din trunchiul cerebral provin din nucleul central, cel mai primitiv punct de vedere al zoologiei comparate. Datorită acestor evidențe anatomice, amigdala poate contribui la formarea căii finale, care provoacă modificări visceromotorii și somatomotorii mediate limbic. De asemenea, ea este implicată în memorie și emoții. Rolul amigdalei în producerea modificărilor viscerele este cunoscut de mulți ani, dar descoperirile recente cu ajutorul stimulării electrice a ariilor paralimbice, care produc modificări consistente ale stării de somn, ale motilității gastrointestinale, ale ratei cardiace și ale presiunii sanguine, sunt importante pentru înțelegerea fiziologiei și a bolii.

Stimularea regiunii cortico-mediale produce salivare și mișcări de masticare, care pot fi însoțite de suspendarea activității voluntare. Stimularea regiunii bazolaterale produce manifestări de trezire și de atenție.



La stimularea electrică a amigdalei animalelor treze (vigile) au fost obținute comportamente de groază, frică, furie (fenomene de trezire a sistemului nervos simpatic), iar la om, senzații de „déjà vu“.

Faptul sugerează că amigdala nu este implicată în funcțiile homeostatice normale, deoarece nu funcționează în somn. Alte studii au relevat că neuronii amigdalozici măresc rata de excitare în timpul somnului cu unde lente. Lezarea amigdalei duce la pierderea abilității organismului de a lupta cu mediul înconjurător, deoarece reprezintă un sistem rapid de alarmă, care activează mecanismul de stres pituitaro-adrenal. De fapt, întregul sistem limbic poate fi asociat cu emiterea unui comportament neural complex, concomitent și corespunzător unor stimuli de moment.

Rolul amigdalei în memorie rămâne controversat. S-a sugerat că ar da amintirii componenta sa afectivă. Amigdala este bogată în aferențe monoaminice, colinergice și GABA-ergice, iar în porțiunea bazolaterală a acesteia se află o mare densitate de receptori pentru benzodiazepine, sugerând că aceasta reprezintă locul de acțiune al drogurilor anxiolitice.

Nucleul bazolateral are o rețea densă de comunicații cu nucleul central. Henke și colab. (1991) afirmă că majoritatea peptidelor găsite în creier sunt localizate în corpii celulelor amigdaloidale și în terminalele lor.

Datorită implicării nucleilor amigdalari în variate funcții specializate și datorită existenței la acest nivel a numeroși transmițători (hormoni, monoamine, eicosanoizi, peptide, aminoacizi excitatori, posibil și citochine) apare posibilitatea formării unor modificări sofisticate ale inputurilor și outputurilor amigdalare.

Celulele care produc dopamină, norepinefrină și serotonină sunt distribuite în grupe cunoscute, în tot trunchiul cerebral, iar terminalele nervoase amigdalare ajung la unele din aceste grupe celulare. Astfel, grupul celulelor care produce monoamine se proiectează larg în tot SNC și înapoi, în sistemul limbic. Există, deci, un sistem extrem de complex și înalt organizat de modulare a inputurilor și outputurilor amigdalare cu implicații evidente în funcția homeostatică și în diferite tipuri fiziopatologice psihosomatice, dar această rețea interactivă necesită studii amănunțite.

Kluver și Bucy (1937) au raportat constatările lor cu privire la distrucția bilaterală a lobului temporal la maimuță, distrucție în care sunt incluse multe structuri limbice. Acestea produc modificări emoțional-comportamentale dramatice, caracterizate prin îmblânzire, domolire emoțională, tendințe orale (duc toate obiectele la gură), hipersexualitate, tendințe compulsive, hipermetamorfoze (schimbarea frecventă a atenției și a obiectului sentimentelor de plăcere, întâlnită în stările euforice) și lipsa de recunoaștere a obiectelor familiare. Prin urmare, amigdala este implicată și în procesul de învățare, care necesită coordonarea informației diferitelor modalități senzoriale sau asocierea unui stimul cu un răspuns afectiv (emoțional).

Studiile fiziologice și comportamentale făcute pe animale au arătat că amigdala este implicată într-o largă varietate de mecanisme comportamentale ca de pildă cele de evitarea, sexuale, de hrănire și sociale.

Multe din răspunsurile autonome și neuroendocrine mediate de amigdală pot fi privite ca niște componente integrate ale comportamentelor elaborate (Spyer, 1989; Aggleton, 1992). Cu toate acestea, influența amigdalei asupra mecanismelor autonome și endocrine nu trebuie privită ca fiind legată de reglarea homeostatică de bază a acestora, deoarece funcțiile sale sunt integrate în hipotalamus și în partea inferioară a trunchiului cerebral. Totuși, prin conexiunile sale cu hipotalamusul și partea inferioară a trunchiului cerebral, amigdala poate acționa asupra claviaturii autonome și neuroendocrine ca răspuns la inputuri, care la nonprimate sunt predominant olfactive, iar la primate sunt dependente de canalele informaționale care pleacă și vin de la vastul cortex asociativ.

### **Amigdala și simptomatologia epilepsiei de lob temporal**

Nici un semn sau simptom al epilepsiei temporale nu poate fi atribuit în exclusivitate amigdalei, altui constituent al regiunii temporale mediale sau izocortexului temporal. Aceasta din cauză că descărcarea epileptică se răspândește rapid în întregul lob temporal. Numai stimulările localizate care nu induc descărcări epileptice pot defini funcția anumitor structuri. Dar și în cazul acestor stimulări acționează o mulțime de neuroni și conexiuni, care aparțin diverselor componente ale sistemului limbic, izocortexului lobului temporal sau altor componente extratemporale (Gloor, 1997).

### **Fenomenele autonome și visceromotorii ale crizelor de lob temporal**

Descărcările epileptice de lob temporal activează adesea mecanisme viscerosenzitive și autonome (respiratorii). Fenomenele viscerosenzitive sunt reprezentate de disconfortul epigastric și toracic, de greață, palpitații, senzație de cald sau rece, sau chiar de frison.

Unele din aceste efecte au fost produse prin stimulare amigdaloidă în timpul operațiilor neurochirurgicale sau prin explorare stereotaxică. Nici unul din simptomele respective nu a fost reprodus exclusiv prin stimulare amigdaloidă, deși amigdala este locul cel mai comun de evocare a lor.

Modificările autonome și respiratorii, care pot apărea în crizele de lob temporal sunt midriaza, înroșirea sau paloarea (în special a feței), lăcrimarea, tahicardia, tahipneea sau apneea temporală, salivația, eructația (râgâiala), barborismul, flaturarea, horipilarea, transpirația, micțiunea involuntară, defecația sau diareea și secreția vulvovaginală când se asociază cu experimente erotice. Unele din aceste efecte autonome sau respiratorii au fost reproduse la om prin stimularea amigdalei și a ariilor adiacente (Becaud și colab., 1966; Wieser, 1983). Totuși ele nu apar la toți pacienții la care amigdala descarcă în timpul crizelor epileptice, deoarece sunt legate de un anume comportament. De exemplu midriaza, discom-



fortul epigastric, palpitațiile și paloarea apar împreună cu sentimentul de teamă sau cu cel de evocare a memoriei de groază. La aproximativ 50% din acești epileptici apare senzația de teamă. La unii pacienți cu epilepsie de lob temporal crizele sunt precedate de experiențe halucinatorii sau iluzionare similare celor din viața de fiecare zi.

Fenomenele experiențiale foarte vii, apărute ca manifestări epileptice, sunt limitate la epilepsia de lob temporal. Ele pot fi afective, perceptuale, mnemonice sau pot apărea în combinație de câte două sau trei. Când apar în astfel de combinații similaritatea lor cu viața reală este izbitoare. Subdivizarea didactică a fenomenelor experimentale în afective, mnemonice sau perceptuale este artificială, dar în acest mod ele pot fi analizate separat.

### Modificări afective

Cel mai comun afect produs de descărcarea epileptică temporală este teama. Teamă ictală se extinde de la anxietate ușoară până la teroarea intensă. Frecvent, dar nu invariabil, se asociază cu epigastralgie, palpitații, midriază și paloare însoțite de halucinații de groază, de memorie înspăimântătoare sau de ambele. La mulți pacienți, teama poate fi produsă prin stimularea amigdalei sau a regiunii din vecinătatea ei. Rar, poate fi produsă și de stimularea hipocampului sau a izocortexului. Lipsa fricii poate fi datorată amneziei anterograde, care împiedică subiectul să-și amintească emoția dar modificarea expresiei faciale sau vocalizarea sugerează sentimentul de teamă provocat de stimularea amigdaloidă.

Experiențele pe animale au demonstrat că stimularea amigdalei provoacă comportamente defensive sau de teamă.

Nucleul central al amigdalei reprezintă structura esențială pentru condiționarea senzației de teamă și pentru unele efecte autonome ale stressului, cum ar fi ulcerul de stress al mucoasei gastrice (Spyer, 1989; Hitchcock și colab., 1989). În inducerea răspunsului de teamă condiționată, nucleul central depinde de impulsurile venite de la nucleul amigdaloid lateral, ultimul acționând ca o interfață senzorială (Le Deux și colab., 1990).

Evaluarea nucleului central al amigdalei în medierea senzației de teamă este complicată de faptul că acest nucleu este implicat și în experiențele de satisfacere (Gallagher și colab., 1990). Astfel, problema organizării anatomice a neuronilor amigdaloidieni, care mediază comportamentul de teamă, este incomplet înțeleasă.

Teama este o emoție negativă, nesatisfăcută, dar crizele de epilepsie temporală și stimularea amigdaloidă pot provoca și astfel de emoții negative. Acest fapt este constatat la debutul crizelor când pacienții acuză emoții de supărare, dezgust, culpă, tristețe, depresie sau singurătate (Spiers și colab., 1985; Gloor, 1991 și 1997). Alteori prezența acestor stări emoționale negative este esușgerată de modificarea expresiei faciale, a vocii sau a modului de exprimare. Pacienții nu pot raporta o astfel de emoție din cauza amneziei ictale. Aceste răspunsuri obiective și

subiective sunt produse uneori de stimularea amigdalei, iar alteori sunt evocate din alte părți ale regiunii temporoinulare. Nu există nici un raport convingător, care să sugereze că descărcările lobului temporal induc acte agresive bine direcționate sau coordonate. Totuși este citat pacientul lui Saint-Hilaire și colab. (1980), care în timpul unei crize de lob temporal a bătut psihologul care-l testa.

Ashford și colab. (1980) și Treisman și Delgado-Escueta (1981) au raportat exemple de agresiune ictală și violență apărute la animale în timpul stimulării amigdalei.

Agresivitatea din cadrul epilepsiei de lob temporal se datorează interpretării greșite a comportamentului reactiv de apărare expus de pacient (rar în faza ictală și mai comun în timpul stării confuzionale postictale) când acțiunile acestuia contrastează cu cele ale oamenilor normali (Treiman 1986; Gloor, 1997).

Emoțiile pozitive care apar în timpul descărcărilor epileptice de lob temporal sunt rare. Ele constau din sentimente de fericire, înveselire, voieșie sau excitație erotică (Spiera și colab., 1985; Gloor, 1997). Din rațiuni inaparente, experiențele hipersexuale au fost descrise la femei, excepție făcând un singur caz de sex masculin cu comportament lasciv (Jacome și colab., 1980). Senzațiile sexuale însoțite de manifestări autonome (erecție) au fost observate la bărbați în timpul descărcărilor, care implică lobul paracentral, regiunea perisilviană (Stoffels și colab. 1980) și lobul frontal.

Setea sau impulsul de a bea, neasociat în mod necesar cu sentimentul de sete, este un alt fenomen afectiv, care apare uneori în cursul crizelor epileptice de lob temporal (Bencaud și colab., 1966; Cascino și Sutula, 1989).

El este provocat de stimularea amigdaloidă (Bancaud și colab., 1966).

Sentimentul de foame și mâncatul sunt rar determinate de descărcările lobului temporal. Numai Gastaut (1955) a raportat o astfel de situație. Uneori pacientul nu relatează nici o experiență afectivă dar dispoziția sa se poate schimba în timpul epilepsiei de lob temporal și poate persista o anumită perioadă de timp (Gloor, 1997).

## Fenomene perceptuale

În timpul epilepsiei de lob temporal apar și fenomene perceptuale.

Ele pot implica toate modalitățile senzitive, dar în grade diferite și nu totdeauna în forma adevărată a fenomenelor experiențiale, ultimele fiind observațional delimitate la modalitățile vizuală și auditivă (Becaud, 1987; Taylor și Lochery, 1987). Prin urmare, amigdala este implicată numai în acele fenomene perceptuale, care au calități subiective experiențiale adevărate.

Halucinațiile auditive și vizuale nu implică amigdala, deoarece apar în cazul descărcărilor corticale vizuale și auditive primare.

Halucinațiile somatosenzoriale, care apar în crizele epileptice de lob temporal sunt de tip elementar nonexperiențial. Ele diferă de cele provocate de girusul



postcentral prin proasta lor localizare și prin faptul că implică o regiune întinsă sau chiar bilaterală a corpului.

Adesea apar și vagi senzații cefalice (Penfield și Jasper, 1954; Wieser, 1983).

Substratul anatomic al acestor fenomene somatosenzoriale prost definite este neclar, dar uneori ele se datorează stimulării amigdalei sau lobului temporal. Pacienții nu raportează niciodată halucinații somatosenzoriale cu calități experiențiale (Gloor, 1986 și 1997).

Totuși, Gloor (1972 și 1992) a remarcat de două ori prezența halucinațiilor somatosenzoriale experiențiale ca răspuns la stimularea amigdaloidiană.

Prima senzație elaborată se referă la sentimentul căderii pacientului în apă și al acoperirii ochilor și feței acestuia. A doua a constat dintr-o senzație erotică vulvovaginală.

Halucinațiile gustative și olfactive nu sunt clar experiențiale, deoarece calitatea și natura mirosului și gustului rămân adesea rău definite, legătura lor cu memoria și experiențele de fiecare zi nefiind clare. Există și unele excepții de la această regulă/ În mod obișnuit, halucinațiile olfactive și gustative sunt dezagreabile și mult mai rar plăcute.

Halucinațiile olfactive sunt manifestări relativ neobișnuite ale epilepsiei de lob temporal (Feindel, 1974; Spiers și colab., 1985; Taylor și Lochery, 1987).

Becaud (1987) crede că halucinațiile olfactive apărute în crize nu-și au originea în lobul temporal, ci sunt cauzate de descărcarea cortexului frontal orbital posterior. Totuși, uneori senzațiile olfactive sunt provocate și de stimularea amigdaloidiană (Penfield și Jasper, 1954; Gloor și colab., 1982).

În cadrul epilepsiei de lob temporal, apar și halucinații gustative care pot fi reproduse prin stimulare amigdaloidiană (Hausser-Hauw și Becaud, 1987). S-a argumentat că nu amigdala sau alte structuri ale lobului temporal sunt implicate în mod primar în atragerea acestor fenomene, ci operculul centro-parietal și insula adiacentă (Hausser-Hauw și Becaud, 1987).

Fenomenele perceptuale auditive și vizuale sunt provocate cel mai comun de descărcările epileptice temporale. Aici putem distinge două fenomene perceptuale: pe de o parte, iluziile vizuale și auditive, iar pe de altă parte, halucinațiile vizuale și auditive (Penfield și Jasper, 1954; Gloor, 1991; 1992; Becaud, 1987 etc.). Iluziile sunt distorsiuni sau alterări care se manifestă în calitatea actului perceptual, în timp ce halucinațiile sunt creații perceptuale de novo lipsite de stimuli externi (în absența obiectelor). Iluziile auditive se manifestă prin perceperea mai apropiată sau mai îndepărtată a unui zgomot sau prin perceperea mai slabă sau mai puternică a acestuia.

În modalitatea vizuală putem avea distorsiuni de formă, dimensiune, distanță, culoare și de vedere stereoscopică.

Înregistrarea epilepsiei prin electrozi implantați și studiile de stimulare sugerează că majoritatea acestor schimbări sunt atribuite descărcărilor din cortexul asociativ vizual și auditiv (Penfield și Jasper, 1954; Becaud, 1987), dar ocazional și stimulărilor amigdalienne (Gloor și colab., 1982). Frecvent, aceste iluzii au un caracter experiențial.

Calitatea experiențială este o caracteristică importantă a complexului halucinator auditiv și vizual sau a combinației auditivo-vizuale.

În astfel de situații pacientul are impresia că vede o anumită figură, o persoană, o scenă sau aude o voce, o melodie sau o piesă muzicală (Penfield și Jasper, 1954; Spiers și colab. 1985; Taylor și Lochery, 1987; Gloor, 1991; 1992, 1997. Comun, conținutul acestor halucinații este asociat cu memoria personală. În cazul asocierii strânse cu reamintirea unor evenimente și situații din trecut, caracteristicile perceptuale pot lipsi sau pot fi estompate. Alteori pot fi prezente adevărate conținuturi perceptuale, dar și în aceste circumstanțe ele sunt imprecise (Gloor, 1992, 1997). Vivacitatea experienței subiective ce contrastează cu impresiile perceptuale, nu este cauzată de claritatea detaliilor perceptuale, ci de sentimentul pe care-l trăiește pacientul într-o astfel de situație de viață sau de amintirea respectivă care poate fi mai vie decât o evocare voluntară. Această vivacitate subiectivă este cauzată de sentimentul de „a fi acolo” și nu de detaliul semantic cognitiv. Aici, pe primul plan se situează natura primar afectivă.

În halucinațiile auditive, vocea auzită este familiară dar pacientul niciodată nu este capabil să raporteze conținutul semantic al acesteia (Gloor, 1997).

### Fenomenul memoriei

În timpul epilepsiei de lob temporal sau a stimulării acestuia pot fi activate două feluri de fenomene mnemonice: a) memoria din trecut, retrospectivă și b) „sentimentul de reminiscență”, cum l-a numit Jakson (1888), un fenomen mai comun cunoscut ca iluzie de „dăjă vue”.

Reactivarea memoriei din trecut este clar autobiografică sau oricum personală. De exemplu, când un pacient aude o voce aceasta este a unui membru din familie, sau când vede un loc acesta aparține casei sale sau locului său de muncă.

Sentimentul de reminiscență, iluzia de familiaritate sau de „dăjă vue” provocată de descărcarea lobului temporal sau de stimularea electrică nu are nici un conținut mnemonic atașat de ea (Gloor, 1991, 1992).

Pacientul proiectează sentimentul de reminiscență în mediul său înconjurător chiar dacă acesta este total nou și necunoscut pentru el.

De aici natura iluzorie și incongruentă a acestuia. Sentimentul de reminiscență sau familiaritate poate fi privit ca o componentă cvasi-afectivă a procesului de evocare. În circumstanțe normale acest sentiment face parte din experiența de evocare, care include și un context semantic (Gloor, 1997).

### Rolul amigdalei în procesele memoriei perceptuale și afective

Dintre toate structurile lobului temporal, amigdala reprezintă formațiunea ale cărei fenomene pot fi provocate ușor de către stimularea electrică.

Este cunoscut faptul că halucinațiile vizuale și auditive complexe, precum și memoria retrospectivă pot fi evocate prin stimularea izocortexului temporal.



Punctele izocortexului temporal din care pot fi obținute fenomene experiențiale auditive ocupă prima circumvoluție temporală și o mică porțiune situată imediat sub sulcusul temporal superior.

Fenomenele experiențiale vizuale sunt obținute dintr-o arie izocorticală temporală mai întinsă în care este inclus cortexul tranzițional temporo-occipital și câteva puncte din prima circumvoluție temporală precum și din planul supratemporal. Această segregare relativă a ariilor, care produc răspunsuri auditive și vizuale, corespunde compartimentării izocortexului lobului temporal în arii auditive și vizuale.

Studiile experimentale pe animale au arătat că cortexul asociativ-auditiv ocupă prima circumvoluție temporală (Dawson și colab., 1990) iar cortexul asociativ vizual este localizat în părțile mai ventrale ale izocortexului temporal (Gross și colab., 1981; Mishkin și colab. 1983; Pandya și Yeterian, 1985 etc). Astfel, nu există nici o îndoială asupra faptului că răspunsurile obținute din izocortexul temporo-parietal, raportate de Penfield și Perot (1963), au la bază, la om, o organizare anatomică validă a structurilor corticale implicate în funcțiile auditive și vizuale înalte. Așa se explică și posibilitatea obținerii fenomenelor experiențiale de orice tip, atunci când se explorează componente profunde ale lobului temporal, care aparțin sistemului limbic în special amigdalei.

Răspunsurile afective au o localizare preferențială în amigdală dar răspunsurile perceptuale și mnemonice puternic reprezentate la acest nivel sunt oarecum surprinzătoare.

Interesant este faptul că hipocampusul produce răspunsuri experiențiale mai puține decât amigdala și nu pare a fi implicat preferențial în evocarea răspunsurilor mnemonice.

O descărcare epileptică ca răspuns la stimularea cortexului primar auditiv, vizual, motor sau somatosenzorial se manifestă prin fenomene pozitive simple, nestructurate, de tipul zgomotelor, fosfenelor, contracțiilor unor grupe musculare sau paresteziilor.

Stimularea aplicată ariilor corticale, care contribuie la realizarea unor funcții mai complexe, împiedică adesea utilizarea normală a acestor arii. Cel mai cunoscut exemplu îl reprezintă stimularea cortexului vorbirii, care, după Penfield și Roberts (1959), nu provoacă niciodată vorbire și paralizia abilității pacienților de a vorbi. Totuși, în cadrul sindromului de logoree cu hiperchinezie (Dănăilă, 1972; Arseni-Dănăilă, 1977) stimularea zonelor respective poate duce la apariția unui proces hiperproductiv și în acest domeniu. Unii autori au arătat că apariția fenomenelor experiențiale din cadrul descărcărilor epileptice de lob temporal sau a stimulărilor acestuia se datorează eliberării răspunsurilor experiențiale de sub tutela funcțiilor înalt elaborate (Halgren și colab., 1978). Această explicație nu este convingătoare, deoarece ele nu sunt întâlnite în faza postictală, ci la începutul crizelor de lob temporal, când extinderea anatomică și intensitatea sunt limitate. Apoi, este imposibil ca paralizia ictală a izocortexului temporal, a hipocampusului și a amigdalei, implicate în percepția auditivă și vizuală, în evocare și în răspunsurile afective, să activeze procese care sunt dependente de integritatea funcțională a acestor structuri.

Gloor (1997) admite că evenimentele respective sunt pozitive și se bazează pe faptul că organizarea telencefalului și a fenomenelor cognitive se prezintă sub forma unor rețele cu distribuție paralelă. Aceste rețele formate din componente larg dispersate, cooperează în elaborarea funcțiilor complexe. Mai mult, conceptele teoretice ale modelelor paralele de memorie asociativă și ale distribuției paralele a procesării (Rumelhart și Mc Clelland, 1986) au sugerat existența căilor în care rețelele corticale pot elabora funcțiile cognitive mai înalte. În acest sens, Gloor (1992 și 1997) arată că, cortexul asociativ al lobului temporal precum și alte arii corticale asociative din lobul frontal și parietal sunt interconectate reciproc cu amigdala și hipocampusul. Inputurile amigdalene și hipocampice sunt bine cunoscute, dar conexiunile inverse, pornite de la amigdală și de la sistemul hipocampic prin cortexul entorinal și complexul subicular către ariile corticale asociative larg răspândite, sunt mai puțin evidente (Amaral 1986, 1987, 1990; Amaral și colab. 1992). Dacă o astfel de rețea operează conform procesului de distribuție paralelă, atunci pot fi asociate două ipoteze.

Prima susține că o dată matricea creată, aceasta poate fi reprodusă numai prin activarea unui segment al ei, iar a doua arată că matricea rezistă degradărilor serioase când părți din ea sunt distruse sau inactivate, sau când în ea pătrunde un zgomot (Rumelhart și Mc Clelland 1986).

Totuși, în această rezistență la degradare există limite, care fac ca mesajul conținut în ea să devină ininteligibil. Cel mai interesant aspect cu privire la interpretarea fenomenului experiențial din epilepsia de lob temporal este toleranța la zgomot. Descărcările epileptice incipiente din amigdală, posibil și din izocortex, pot recrea o matrice neuronală care corespunde unei experiențe reale. Datorită acestui fapt, cantitatea de zgomot introdus de descărcarea epileptică accentuată poate induce inițial un grad de degradare, tolerat fără pierderea caracterului inteligibil, deși conținutul poate fi brut.

Datele de mai sus explică de ce fenomenele experiențiale sunt fragmentare, detaliile perceptuale estompate și evocările parțiale.

De asemenea, ele pot explica și durata scurtă a acestor fenomene, care apar numai în timpul aerei crizelor epileptice.

Degradarea în continuare produsă de descărcarea epileptică face ca neuronii care aparțin matricei respective să devină incapabili de orice reprezentare. Se intră astfel în faza paralizantă a epilepsiei de lob temporal, când funcția acestuia este sever disruptă. Clinic, această fază este caracterizată prin confuzie, automatism și amnezie anterogradă. Care este rolul amigdalei în acest context? După Gloor (1997), în cursul constituirii matricei din experiențe ale vieții cotidiene, neuronii amigdaloizi primesc impulsuri de la principalele arii asociative senzoriale implicate în percepție. Asocierea acestor inputuri cu stimuli aversivi sau recompensatori duce la apariția unei dimensiuni afective, care se atașează experienței perceptuale reprezentată de matrice. Implicarea amigdalei într-o astfel de funcție importantă din punct de vedere sociobiologic, este bine documentată, devenind punctul de interes al gândirii socioneurologice moderne (Brothers, 1990). În timpul activării amigdalei sunt puse în mișcare trei outputuri amigdaloidale. Unul direcționat către hipotalamus



și trunchiul cerebral, care pregătește sau amorsează sistemul autonom și endocrin pentru a răspunde corespunzător mesajului perceptual, mai ales dacă asocierile afective ale acestuia sunt puternice. Al doilea flux este direcționat către hipocamp servind la consolidarea informației perceptuale care intră în același timp în sistemul hipocampic și apoi în amigdală. În fine, al treilea curent este proiectat înapoi către populația neuronală a cortexului asociativ care a inițiat mesajul direcționat către amigdală și hipocamp, probabil și către alte arii asociative. Acest mesaj amigdaloid de întoarcere coincide probabil cu ajungerea acolo a mesajului hipocampic de retur, astfel încât ambele pot induce la acel nivel unele modificări plastice și crea un patern cu conexiuni sinaptice puternice între seturile specifice de neuroni corticali. Aceste seturi sunt părți de distribuție emergentă ale matricei neuronale în care este reprezentată experiența ca întreg și care se leagă cu neuronii ce aparțin matricei din amigdală și din sistemul hipocampic.

Evocarea experienței prin reactivarea matricelor respective poate fi produsă pe căi diferite. Influențarea unei experiențe perceptuale poate fi făcută prin activarea cel puțin a unei părți din populația izocorticală implicată în experiența originală, iar recrearea întregii matrice care îi corespunde, precum și evocarea memoriei evenimentului original împreună cu răspunsul afectiv corespunzător, se face prin activarea neuronilor amigdaloidi. Interacțiunea dintre amigdală și hipocamp poate accentua în continuare consolidarea acestuia în memorie.

Influențarea unor stimuli, nu în mod necesar identici cu experiența necesară originală, dar care să aibă o oarecare similaritate cu ea (afectivi, etc), poate, prin intermediul amigdalei, să lumineze matricea originală și să ducă la evocarea mesajului perceptual original, asociat efectului corespunzător. Inițial, putem avea un răspuns pur amigdaloid, dar care poate duce la reamintirea și a conținutului cognitiv prin reactivarea întregii matrice. Uneori această reactivare nu are loc, dând naștere numai unui sentiment de reminiscență sau unei iluzii „déjà vu“ lipsită de conținut cognitiv (Gloor, 1997).

Presupunând că acest model este valid, devine evident faptul că descărcarea epileptică incidentă din amigdală (sau din altă parte a sistemului ) sau stimularea electrică localizată pot duce la activarea unei matrice specifice. Aura experiențială poate fi corelată subiectiv cu activarea matricei specifice. Acest fapt explică de ce fenomenul experiențial poate fi provocat atât de ariile limbice, cât și de ariile izocorticale.

Datele de mai sus sugerează că una din funcțiile amigdalei este aceea de a furniza semnalului o recunoaștere afectivă care poate iniția o evocare afectivă. Aceasta se opune evocării semantice sau voluntare. Când cineva se află într-o situație afectivă specifică, mecanismul respectiv poate fi implicat și în evocarea spontană.

### **Amigdala și automatismul epileptic**

Stimularea ariei amigdaloidale la pacienții epileptici conștienți, în timpul chirurgiei pentru epilepsia de lob temporal, reproduce caracteristicile esențiale ale automatismului epileptic (Feindel și colab. 1952).

În timpul acestor automatisme, pacientul execută forme simple sau complexe de comportamente motorii, lipsite de scop, fără a răspunde la stimuli verbali, iar la trezire prezintă amnezia întregului episod.

Automatismele simple se manifestă prin mișcări de închidere și deschidere a pumnului, de îmbrățișare, de smulgere, de frecare a mâinilor, de batere a ritmului cu degetele, de masticăție, sugere, înghițire, scuipare, lingere a buzelor, plescăit și fluierat.

Cea mai comună formă de automatism, numită de autorii francezi (Bancaud, 1987) automatism oro-alimentar, constă din mișcări ritmice ale gurii și gâtului sub formă de mestecat, înghițit sau plescăit al buzelor. În acest timp, nu se poate comunica cu pacientul, care ulterior rămâne amnezic pentru actele respective. Acest comportament este simplu, stereotip și limitat la dinamica mișcărilor legate de mâncat. Automatismele masticatotrii apar cu mare frecvență în epilepsia de lob temporal, precum și în cea cu focar opercular sau pararinal.

Ceva mai complex este paternul comportamental de autoinspecție și automanipulare, timp în care pacientul își smulge hainele, se înfășoară cu cearceaful sau își freacă nasul sau altă parte a corpului. Pe parcursul acestor comportamente bolnavul rămâne insensibil la stimulii externi și la comenzi, iar după atacul epileptic este amnezic. Automatismele complexe constau din mișcări mai complicate, efectuate tot automat. Ele se manifestă prin mișcări de căutare, dezbrăcare, îmbrăcare, închidere-deschidere a nasturilor, apărare, aranjare a hainelor, a patului, a unor obiecte sau, uneori, reprezintă continuarea unor activități profesionale etc.

Automatismele ambulatorii constau din deplasarea bolnavului pe distanțe variabile și pe durate variabile. Automatismele ambulatorii de scurtă durată (minute) sunt mai frecvente, dar există și automatisme ambulatorii cu durată de ore sau zile care au fost denumite de vechii autori „fugi epileptice”. În cadrul acestora, bolnavul are un comportament mai mult sau mai puțin eupraxis, poate efectua acțiuni logice dar, de asemenea, poate comite și acțiuni responsabile, acte de violență sau chiar crime.

Automatismele ambulatorii pot fi diurne sau nocturne și atunci se ridică problema diagnosticului lor diferențial în raport cu somnambulismul sau cu manifestări episodice nocturne neepileptice. Automatismele ambulatorii de origine epileptică apar cel mai frecvent în epilepsia temporală, dar ele sunt comune mai multor tipuri de epilepsie, pentru producerea lor fiind necesară o stare de confuzie epileptică postictală. Astfel, bolnavul se trezește mirat în anumite locuri fără să știe cum a ajuns acolo. Totuși, starea de conștiință nu totdeauna este suspendată în timpul perioadei automatismului.

Prin urmare, în perioada automatismului apare un spectru larg de comportamente motorii manifestate prin acte simple sau comportamente complexe, elaborate, de tipul dezbrăcării, ducerii la baie pentru efectuarea necesităților, manipularii adecvate sau inadecvate a obiectelor sau a efectuării unor comportamente mai complexe, uneori în context adecvat.

Din această cauză este dificil de dat o interpretare satisfăcătoare acestor automatisme. În contrast cu fenomenele experiențiale din crizele epileptice,



automatisme corespund în linii mari unei stări de parazitare ictală a funcției lobului temporal. În cazul crizelor amnezice parazitarea, cauza se află în principal la nivelul funcției hipocampice. Starea de automatism reflectă paralizia funcției lobului temporal, probabil și a ariilor corticale și subcorticale în care se răspândește descărcarea epileptică (Feindel și colab., 1952).

Aceste afirmații confirmă observația conform căreia automatismele ictale nu pot fi deosebite de automatisme postictale, excepție făcând cazurile la care înregistrările EEG concomitente permit determinarea punctului în care descărcarea se stopează (Feindel și colab., 1952; Feindel 1990; Gloor 1990 și 1997).

Starea postictală reprezintă o depresie a funcției neuronale evidențiate prin activarea cu unde lente, care domină EEG din acel moment (Gloor, 1997). Automatismul ictal este în esență identic cu automatismul postictal, în care funcția neuronală a lobului temporal și a altor arii este deprimată sever. Stimularea electrică a amigdalei și a altor structuri aparținând lobului temporal produce rar automatisme lipsite de crize epileptice sau de răspândire a postdescărcării (Bancaud și colab. 1996). În timpul automatismului ictal, descărcarea epileptică intensă se răspândește larg în lobul temporal și invadează adesea structurile adiacente, iar funcția structurilor subcorticale este disruptă.

La majoritatea cazurilor aceste descărcări sunt bilaterale, astfel încât automatisme pot fi induse atât de stimularea ambelor regiuni hipocampice și amigdaloide, cât și de crizele care iau naștere în alte părți ale creierului (Williamson și colab. 1985; Gloor, 1991).

Simptomatologia automatismelor rezultă din paralizia ictală a structurilor lobului temporal și a altor arii corticale asociative. În cadrul acesteia includem amnezia anterogradă determinată de parazitarea funcției sistemului hipocampic. În același timp, pacientul este lipsit de posibilitatea de a răspunde adecvat la stimulii prezentați. Acest fapt indică prezența unui deficit în claritatea perceptuală, dar nu toate percepțiile sunt pierdute. Pacientul evită obstacolele, poate vedea obiectele, le poate apuca și chiar manipula normal, dar comportamentul său general este mult necorespunzător. El nu răspunde adecvat la semnalele sociale și nu interacționează cu discernământ social sau corespunzător cu persoanele, din jur angajându-se uneori în comportamente antisociale cum ar fi dezbrăcarea într-un loc public. Asistăm aici la un deficit de memorie personală și la pierderea atitudinilor sociale care ghidează comportamentele noastre de fiecare zi. La nivel cerebral, se produce deconectarea ariilor corticale asociative frontale și temporale de sindromul hipocampal și amigdalian. Comportamentul afectiv este și el mult deficitar, fiind dominat de groază și mai rar de veselie, atitudini care pot fi extinse până în faza postictală, dar care nu au nici o legătură cu circumstanțele în care se află pacientul. Stimularea hipotalamusului sau a structurilor trunchiului cerebral, care integrează mecanismele emoționale de bază pot fi puse în mișcare biochimic sau neuroendocrin după o perioadă mai lungă de timp. Automatisme ritmice (masticatorii, de înghițire, etc) se datorează descărcărilor amigdaloide.

Datele anatomice recente arată că amigdala trimite proiecții către compartimentul neuronal al trunchiului cerebral implicat în integrarea programului masticator motor (Tacheuki, 1988). Nu se știe dacă neuronii care proiectează în

ariile trunchiului cerebral implicate în masticăție exercită un efect inhibitor sau excitator. În afara crizelor sau a postdescărcării, stimularea amigdalei sau a structurilor adiacente nu produce mișcări masticatorii ritmice (Feindel, 1952; Becaud și colab., 1966). Ele nu apar în fazele foarte precoce ale crizelor dar se continuă în perioada postictală. Acest fapt sugerează că mișcările apar datorită eliberării de către criza epileptică a unui control inhibitor exercitat în mod normal de către amigdală asupra neuronilor trunchiului cerebral care dirijează programul motor implicat în masticăție și deglutiție (Gloor, 1997). Cu toate acestea, nu putem exclude participarea operculului rolandic și a restului cortexului motor în derularea crizelor epileptice de lob temporal și a automatismelor.

### **Teama din epilepsia temporală și atrofia amigdalei**

Cea mai comună manifestare afectivă indusă de descărcarea epileptică de lob temporal este teama. Ea debutează brusc și poate fi moderată sau intensă de tipul teroarei. Există date clinice și experimentale numeroase, care arată că amigdală are un rol esențial în experiența și expresia de teamă. Ea poate fi reprodusă la mulți pacienți prin stimularea amigdalei și a ariilor din imediata sa vecinătate. Stimularea izocorticală sau hipocampică reproduce teama mult mai rar. Uneori, teama apare când descărcarea epileptică pornită din altă parte cuprinde amigdală (Becaud și colab., 1966; Gloor, 1992; Fish și colab., 1993).

La animalele de experiență, extirparea bilaterală a amigdalei înlătură comportamentul legat de teamă (Kemble și colab., 1984). Invers, stimularea amigdalei provoacă, la animale, răspunsuri defensive sau de teamă (Kaada și colab., 1954).

În condiționarea mecanismului de teamă este implicat nucleul central al amigdalei (Davis, 1992), care are conexiuni reciproce cu hipotalamusul și cu structurile inferioare ale trunchiului cerebral în care sunt incluse complexul vagal și bulbul (Hopkins și Holstage, 1978). Aceste conexiuni mediază răspunsurile autonome și somatomotorii la teamă, ca în cazul reflexului de tresărire (spaimă). La pisici expresia autonomă și comportamentală a reacției de apărare este mediată de nucleul bazal al amigdalei, în particular de diviziunea sa magnocelulară (Hilton și Zbrozyna, 1963). Această porțiune a amigdalei și nucleul central trimit proiecții hipotalamice prin calea amigdalofugală ventrală (Price și Amaral, 1981), care este esențială pentru comportamentul de teamă provocat de stimularea amigdalei. Expresia comportamentală mai elaborată a stării de teamă implică predominant nucleul bazal și conexiunile sale.

Teama din epilepsia lobului temporal este mult mai frecventă decât o indică rapoartele subiective. Unii pacienți, care nu raportează sentimentul de teamă, prezintă la începutul atacului epileptic expresii faciale, modificări ale vocii și un strigăt care sugerează teama.

Lipsa de conștientizare a fricii se datorează și amneziei anterograde pentru evenimentele care apar în faza precoce a crizei.

Cel mai comun substrat al epilepsiei de lob temporal îl reprezintă modificarea patologică a amigdalei manifestată prin pierdere neuronală și glioză (scleroză temporală medială). Structurile implicate cel mai mult în scleroza



temporală medială sunt hipocampusul și amigdala. Aceste modificări pot fi puse în evidență cu ajutorul IRM cu rezoluție înaltă (Feindel și colab., 1991; Cook și colab., 1992; Lencz și colab., 1993; etc).

Deși diferențierea amigdalei de structurile adiacente (extensia anterioară a hipocampusului, putamenul, substanța nenumită și claustrum) cer o atenție specială, distincția poate fi făcută (Watson și colab., 1992). În urma acestor studii s-a constatat că teama corelează semnificativ cu atrofia amigdaliană pronunțată. În plus, epilepsia de lob temporal a pacienților cu leziuni structurale mediale care cuprind hipocampusul și amigdala este asociată frecvent cu teama (Cendes și colab., 1993 și 1994). Adesea aceștia au și crize epileptice generalizate, fapt demonstrat de Cook și colab. (1992).

Teama ictală asociată în mod obișnuit cu alte simptome viscerosenzoriale este mai comună la pacienții cu patologie amigdaloidă severă.

În rezumat, sunt evidente două aspecte ale implicării și rolului amigdalei în epilepsia de lob temporal: 1) procesele patologice structurale care implică amigdala joacă un rol important în patogenia epilepsiei de lob temporal și 2) amigdala are rol și în producerea simptomatologiei clinice a epilepsiei de lob temporal. Ultimul ne permite a face o incursiune și în organizarea funcțiilor afectivă, perceptuală și mnemonică ale creierului uman.

Substratul patologic al epilepsiei de lob temporal este reprezentat de modificările amigdalene sub forma gliozei și a pierderilor neuronale parțiale din cadrul sclerozei temporale mediale. Leziunea principală din scleroza temporală medială este cea care afectează hipocampusul. Modificările plastice, care apar în hipocampusul pacienților epileptici nu se adresează și amigdalei.

La pacienții cu epilepsie de lob temporal cauzată de alte leziuni decât scleroza temporală medială, amigdala este afectată mai mult decât hipocampusul. Totuși, datele actuale nu susțin faptul că patologia hipocampică reprezintă elementul crucial din patogenia epilepsiei de lob temporal. S-a sugerat că ambele patologii (amigdaliană și hipocampică) sunt la fel de importante, dar această ipoteză mai trebuie verificată.

Studiile electrofiziologice de înregistrare și stimulare au sugerat că amigdala este implicată în aproape toate manifestările clasice viscerosenzoriale, autonome, afective, perceptuale și mnemonice ce caracterizează epilepsia de lob temporal. Datele de mai sus nu sunt valabile numai pentru amigdală, ci se aplică și altor structuri ale lobului temporal cum ar fi hipocampusul, girusul parahipocampic și izocortexul temporal. Această situație aparent deconcertantă reflectă legăturile anatomice strânse, care conectează reciproc variatele componente ale lobului temporal. Totuși cele relatate nu semnifică faptul că fiecare porțiune este echipotentă funcțional, ci arată că în context fiziologic normal, dar și în elaborarea fenomenelor experiențiale complexe care apar în unele crize de lob temporal, diversele structuri ale acestuia trebuie să interacționeze reciproc.

Gloor (1990 și 1997) emite ipoteza conform căreia contribuția amigdaloidiană la elaborarea acestor fenomene complexe este legată de mecanismele afective, de repercursiunile sale autonome, precum și de mecanismele de evocare a memoriei.

Automatisme epileptice, care o dată au fost atribuite activării amigdalei, s-au dovedit a avea corelate anatomice mai largi.

Automatismele reflectă o paralizie funcțională indusă de crize, în componentele izocorticală și limbică ale lobului temporal, obstacol care se extinde probabil și asupra structurilor extratemporale.

Automatismul ritmic masticator are relații mai specifice cu amigdala. El poate reflecta descărcarea neuronilor amigdaloizi care se proiectează în celulele nervoase ale trunchiului crebral inferior implicate în controlul masticăției. Acest efect este probabil negativ, deoarece reflectă o parazitare epileptică a acestor structuri. Un efect pozitiv ar consta din activarea către amigdală a neuronilor masticatori de la nivelul operculului rolandic.

### **Amnezia din epilepsia de lob temporal**

Pierderea sau afectarea conștiinței din cadrul crizelor parțiale complexe este un fenomen complicat. Aceasta are două caracteristici frapante, lipsa de răspuns și amnezia. Ele nu sunt simple, iar una poate apărea fără cealaltă.

Termenul de pierdere sau de deteriorare a conștiinței camuflează o întreagă varietate de tulburări ale funcției nervoase superioare.

Acestea pot fi identificate și testate separat prin observarea atentă a pacientului prin contactele (interacțiunile) pe care le stabilește cu el în timpul crizelor și, uneori, prin cercetarea atentă a istoricului. Analizele respective ne pot duce la identificarea diferitelor mecanisme și a substraturilor anatomice ale crizelor parțiale complexe. De exemplu, amnezia ictală poate rezulta din răspândirea bilaterală a descărcării crizei de lob temporal, sau în cazul în care descărcarea rămâne unilaterală, poate denota incapacitatea regiunii hipocampice contralaterale de a susține în mod adecvat funcția memoriei (Gloor, 1977).

Crizele parțiale complexe de lob temporal în care unele atacuri sunt caracterizate prin pierderea selectivă a memoriei pentru evenimentele care se derulează în timpul crizei fără alte manifestări clinice ictale evidente au fost denumite de Gloor (1997) crize amnezice pure (pure amnezic seizures-PAS).

Unii dintre acești pacienți pot executa în timpul crizei activități corespunzătoare. Aceasta arată că în afara abilității de înregistrare în memorie a ceea ce a făcut, funcțiile sale cognitive rămân intacte, inclusiv abilitatea de a raționa și a evalua situația în care se află.

Prin urmare, comportamentul din timpul crizelor nu este considerat anormal de către oamenii din jur. La toți ceilalți pacienți, amnezia ictală din majoritatea crizelor este asociată cu lipsa de răspuns și cu confuzie. La unii din aceștia, investigațiile invazive cu electrozi profunzi au confirmat prezența descărcărilor epileptiforme interictale bitemporale independente arătând că respectivele crize își au originea într-un singur lob temporal sau în ambii (Gloor, 1997). La alții, investigațiile EEG extracraniene au arătat că tulburările epileptiforme interictale și debutul crizelor temporale unilaterale provin din focarul interictal depistat. De exemplu, faza inițială a atacului implică numai structurile limbice stângi cu răspândire modestă și asupra izocortexului temporal stâng. Ulterior, criza se răspândește și în partea dreaptă, cuprinzând la început numai hipocampusul drept, iar ulterior amigdala dreaptă și izocortexul temporal. În timpul crizei care implică



numai lobul temporal stâng comportamentul pacientului rămâne în întregime normal. Odată cu răspândirea crizei de partea cealaltă și cu afectarea izocortexului, comportamentul se schimbă în mod dramatic. Pacientul își pierde vivacitatea, răspunde slab sau devine necooperant. Practic el nu-și amintește nimic din această a doua parte a crizei. Implicarea bilaterală a structurilor temporale mediale este absolut necesară pentru producerea amneziei anterograde și a unei părți din cea retrogradă.

La bolnavii cu focar EEG unilateral, IRM a relevat un semnal crescut în regiunea lobului temporal medial pe imaginile ponderale-T2 (Gloor, 1997).

Crizele amnezice pure (PAS-Pure Amnestic Seizures).

Amnezia pentru evenimentele ictale și pentru cele postictale precoce este comună în epilepsia de lob temporal. Ea este asociată cu imposibilitatea de a comunica și cu confuzie. Cauza lipsei de comunicare nu totdeauna este aceeași. Ea poate fi afazia, inabilitatea inițierii mișcărilor voluntare, distragerea atenției de către experiențele halucinatorii și alte inabilități de răspuns la stimulii verbali slab definite (Gloor, 1986). În multe din aceste cazuri, descărcările epileptice se răspândesc mult paralizând nu numai funcția structurilor temporale mediane, dar și pe cea a izocortexului temporal și extratemporal.

Confuzia este greu de definit. Ea apare, probabil, atunci când capacitățile perceptuale elementare sunt păstrate sau când parazitarea izocortexului temporal și a cortexului asociativ frontal de către descărcarea epileptică răspândită face pacientul incapabil de a utiliza percepțiile în mod corespunzător situației de moment (Gloor, 1991). Prin urmare, lipsa de comunicare și confuzia din cadrul crizelor de lob temporal s-ar datora răspândirii descărcării epileptice asupra ariilor izocorticale. Dinpotrivă, amnezia din cadrul epilepsiei de lob temporal apare ca rezultat al siderării funcției structurilor temporale mediale, în particular al hipocampului. Această siderare poate fi bilaterală sau poate afecta structurile mediale contralaterale leziunii temporale statice nefuncționale.

După Palmini și colab.(1992) numai manifestările epileptice ictale dau amnezie anterogradă cu păstrarea integrală a comunicării, fără nici un semn de confuzie. Termenul de PAS poate fi atribuit numai acestor crize. Aici putem aminti faimosul caz Z al lui Jackson (1888), care în timpul unei crize apărute în momentul în care examina un pacient a pus diagnosticul de pneumonie de lob inferior, pe care l-a notat pe hârtie. Ulterior, nu și-a amintit de acest fapt dar la reexaminarea bolnavului diagnosticul s-a dovedit a fi corect.

Tulburarea de memorie din timpul PAS se aseamănă cu deficitul de memorie anterogradă de la pacienții amnezici. Aceștia nu prezintă dificultăți legate de conversația normală.

Memoria pe termen scurt rămâne intactă atâta timp cât pacientul nu este distras, dar aceasta este pierdută irecuperabil în momentul în care atenția persoanei este deplasată către un alt subiect.

Tulburarea respectivă de memorie este tipică pacienților cu leziuni temporale mediale bilaterale, a căror funcție este pierdută (Milner 1985; Gloor, 1997).

Deosebirea amneziei anterograde de cea retrogradă sugerează că mecanismele de înregistrare a itemilor în memorie și cele responsabile pentru evocarea lor pot fi într-o oarecare măsură separate.

## Substratul anatomic al PAS

Gloor (1997) postulează că în PAS decărcarea epileptică duce la inactivarea funcțională a activității formațiunilor izocorticale temporale. Astfel, simptomatologia ictală nu ar fi limitată la pierderea memoriei anterograde. Majoritatea pacienților cu PAS au disfuncții bilaterale evidente ale structurilor temporale mediale, chiar dacă la unii debutul crizelor este lateralizat la un singur lob temporal. La aceștia, lobectomia temporală unilaterală, în care este inclus țesutul hipocampic, poate duce la apariția unor dificultăți semnificative de memorie. Uneori, pentru producerea PAS, poate fi suficientă numai inactivarea ictală unilaterală a regiunii hipocampice. Alteori, afectarea ictală unilaterală, la pacienții cu disfuncții temporale mediale bilaterale, nu este suficientă pentru producerea PAS. Totuși, amnezia anterogradă apare numai după implicarea ambelor structuri mediale temporale, deși există cazuri la care răspândirea descărcării în hipocampus controlateral afectează și unele elemente retrograde care acoperă faza inițială unilaterală a crizei (Gloor, 1997). Aceste observații dau naștere unei dileme fiziopatologice prin faptul că majoritatea crizelor care pornesc din structurile temporale mediale se propagă mai întâi la neocortexul temporal ipsilateral și numai ulterior către structurile temporale mediane contralaterale (Lieb și colab., 1986; Spencer și colab., 1987; Gloor și colab., 1993). În aceste condiții PAS nu apar deoarece implicarea bilaterală a izocortexului în declanșarea paternelui crizei de lob temporal dă amnezie asociată cu lipsa de răspuns la stimulii verbali și cu confuzie. Dar Gloor (1997) a postulat că PAS apar datorită răspândirii descărcărilor epileptice din structurile temporale mediane unilaterale către cele contralaterale, fără implicarea izocortexului.

La om, singura cale anatomică disponibilă pentru această răspândire este comisura hipocampică dorsală (Amaral și colab., 1984; Demeter și colab., 1995) și comisura anterioară. Corpul calos nu transportă semnele selective de la o structură medială temporală la alta. La om comisura hipocampică ventrală este vestigială dar cea dorsală rămâne funcțională.

Studiile făcute pe primat sau pe alte mamifere arată că această comisură interconectează presubiculum și unele arii adiacente girusului parahipocampic de o parte, cu cortexul entorinal de partea cealaltă (Amaral și colab., 1984; Demeter și colab., 1985, 1990). Ar mai exista încă două căi de răspândire contralaterală dar acestea sunt improbabile. Una se duce la septul contralateral (Aggleton și colab., 1987) și de acolo înapoi la hipocampus, iar alta unește corpii mamilari cu hipocampusul via talamusul anterior și girusul cingulat. În acest sistem cele două proiecții contralaterale sunt slabe (Veazey și colab., 1982).

Diagnosticul diferențial al PAS trebuie făcut cu starea amnezică postictală prelungită și cu amnezia globală tranzitorie. Starea amnezică postictală urmează după crizele parțiale complexe convenționale. Ea poate fi trecută cu vederea din cauza moderației sale (Gallassi și colab., 1980) și se caracterizează prin amnezia anterogradă și retrogradă.



Amnezia postcritică prelungită diferă de PAS prin: a) precedarea acesteia de o criză parțială complexă convențională, în timp ce în PAS evenimentul amnezic reprezintă criza însăși, b) prezența amneziei retrograde, care în PAS nu apare în istoric și c) durata mai lungă a stării amnezice (zile săptămâni, etc), fapt necaracteristic pentru PAS.

Alt diagnostic diferențial, care trebuie avut în vedere este amnezia globală tranzitorie (Hudges și Ward, 1989; Hodges și Warlow, 1990).

Aici trebuie precizat că episoadele amnezice sunt singurele manifestări ale pacienților cu amnezie globală tranzitorie, în timp ce PAS sunt însoțite de crize parțiale complexe convenționale. Amnezia globală tranzitorie durează una sau mai multe ore, în timp ce PAS durează câteva minute.

Pacienții cu amnezie globală tranzitorie sunt anxioși și conștienți că se întâmplă ceva rău cu ei. Dimpotrivă, pacienții cu PAS nu sunt conștienți că se întâmplă ceva deosebit, în timpul atacului. Ei devin conștienți după desfășurarea evenimentului, iar dacă nu sunt puși în situația de a-și justifica atitudinea din timpul crizei, aceasta rămâne necunoscută.

Pacienții cu episoade de amnezie globală tranzitorie sunt de vârstă medie sau mare, în timp ce PAS sunt întâlnite la toate vârstele.

În amnezia globală tranzitorie există aporoape totdeauna și amnezie retrogradă, care în PAS, de obicei, nu a putut fi demonstrată (Gloor 1997).

Structurile implicate în amnezia globală tranzitorie sunt probabil aceleași ca în PAS, dar mecanismul amneziei globale este necunoscut, fiind probabil vascular sau circulator (Mueller, 1989; Stillhard și colab., 1990), și nu epileptic ca în PAS.

### Aria septală

Stria olfactivă medială se întinde către suprafața hemisferică medială și se continuă cu un câmp cortical mic cunoscut sub numele de arie subcaloasă (arie paraolfactivă), localizată sub rostrumul corpului calos. Anterior această arie este limitată de sulcusul paraolfactiv posterior, care o desparte de o altă zonă de cortex numită girusul paraterminal sau girusul subcalos, strâns aplicat pe lamina rostrală a corpului calos.

Aria subcaloasă împreună cu girusul subcalos constituie aria septală.

Termenul de arie septală se referă la partea corticală a acestei regiuni. Partea subcorticală a regiunii septale se compune din nucleii septali lateral și medial situați rostral de comisura anterioară (Carpenter, 1979). Unul din cei mai mari nuclei din această regiune este nucleul acumbens septi, orientat către baza septului și situat medial la joncțiunea dintre nucleul caudat și putamen.

Aspectul citoarhitectonic al septului a făcut pe mulți cercetători să confirme existența doar a nucleilor medial și lateral.

Totuși, Andy și Stephan (1968) recunosc existența a 4 grupe nucleare : medială, dorsală, laterală și caudală. După alți autori, septul se divide în 3 părți:

o arie medială, una laterală și una bazală. Aria dorsală este inclusă în aria laterală. Partea ventrală, trigonum septi și nucleul pat al comisurii anterioare sunt incluși în aria bazală.

**Conexiunile septului** În sept găsim fibre care își au originea la acest nivel, fibre care se termină în sept și fibre care îl traversează. Nucleul septal medial se continuă cu nucleul și tractul benzii diagonale, stabilind astfel conexiuni cu complexul nuclear amigdaloid. Nucleul septal lateral se continuă peste comisura anterioară cu neuronii risipiți ai septului pelucid.

**Aferențele nucleilor septali** Nucleii septali primesc un număr mare de fibre aferente de la hipocamp prin fornix și fimbria, de la complexul amigdaloid prin stria terminalis, de la tuberculul olfactiv și trunchiul cerebral inferior (de la sistemul reticulat activator și inhibitor ascendent, o conexiune monosinaptică excitatorie și una postsinaptică inhibitorie) și de la talamus prin pedunculii mamilar și rostral și prin fasciculul medial al prozencefalului. Proiecțiile septului către hipocamp au o origine exclusiv ipsilaterală, iar activitatea hipocampică depinde de integritatea septului. Fibrele de la hipocampus dorsal trec în partea medială a fornixului, pentru a se termina în partea medială a septului, în timp ce eferențele cu origine în hipocampus ventral trec prin fimbria și se termină în aria septală laterală și la nucleii septali posteriori (triunghiular și septo-fimbrial), care, la rândul lor, timit eferențe către nucleii habenular și interpeduncular (Swanson, 1978).

La primate, hipocampus anterior se proiectează către septul lateral, iar hipocampus posterior către septul medial.

Cornul lui Ammon și subiculul trimit proiecții prin fimbria și fornixul precomisural la nivelul nucleului septal lateral de aceeași parte sau bilateral. Complexul benzii diagonale a septului medial proiectează îndărăt prin fimbria și fornixul dorsal la hipocampus, la girusul dințat, la complexul subicular și la aria entorinală. Complexul subicular trimite proiecții prin fornixul postcomisural la grupul talamic anterior, la complexul mamilar și la nucleii ventro-medial și arcuat ai hipotalamusului.

Fibrele eferente ale nucleilor septali. Toate căile aferente conțin și proiecții eferente. Există totuși o proiecție suplimentară importantă septo-habenulară prin stria medularis și altele mai puțin importante constituite din fibrele septo-preoptico-tuburale și din tractul septo-tuberal (pentru nucleul arcuat). Stimularea fasciculului prozencefalic medial are un efect inhibitor asupra activității neurale a nucleului arcuat. În plus, axonii de la acești nuclei sunt distribuiți caudal la întreaga regiune hipotalamică laterală, precum și la o parte din tegmentul mezencefalic prin intermediul fasciculului prozencefalic medial. Regiunea septală constituie o arie modală a sistemului de proiecție limbic, în care proiecțiile hipocampice și amigdale primare par să se suprapună. Două căi distincte și separate cu origine în această regiune duc impulsurile la tegmentul mezencefalic. Aceste tractusuri sunt: 1) stria medularis, care face sinapsă în nucleii habenulari (care la rândul lor dau naștere fasciculului retroreflex) și 2) fasciculul prozencefalic medial.

Septul este străbătut și de fibre care nu fac sinapsă în zonă, dar care interconectează trunchiul cerebral cu hipocampus, amigdala și lobul temporal.



Nucleul septal medial proiectează fibre prin fimbria către sectoarele CA3 și CA4 ale hipocampului și către girusul dințat. În general, septul medial proiectează către hipocampusul dorsal, în timp ce septul lateral - către hipocampusul ventral. Hegino și Yamaoka (1976) au constatat prezența a trei tipuri de conexiuni între neuronii amigdalieni anteriori și neuronii septali: 1) conexiunea interneuronală inhibitoare, conexiunea excitatorie directă; 3) conexiunea colaterală recurentă.

### Aspecte funcționale ale septului

Funcțiile septului nu sunt încă bine cunoscute. Explicațiile date până în prezent nu sunt integral adevărate, deoarece septul nu are o structură omogenă, iar în cazul provocării de leziuni septale, se întrerup și sisteme de fibre importante care fac sinapsă în zonă. Există totuși tendința de a lega contribuția sa de răspunsurile fiziologice și comportamentale ale hipotalamusului deoarece are importante conexiuni cu acesta, precum și cu mezencefalul.

După investigațiile efectuate, se consideră că septul are influențe inhibitorii hipotalamice legate mai ales de expresia emoțională și de sete. Astfel, la maimuță, în cazul lezării zonei septale apare comportamentul agresiv sau furia septală, iar în cazul stimulării septului agresiunea septului este inhibată.

Datele electrofiziologice și comportamentul sugerează că fibrele fornixului precomisural transmit hipotalamusului impulsuri facilitatorii primare, iar fibrele din stria terminalis, efecte inhibitorii primare. La un moment dat, unul din aceste efecte poate deveni dominant.

Apariția comportamentului agresiv sau a sindromului de furie și de polidipsie după leziuni septale au fost puse pe seama îndepărtării unor efecte inhibitorii hipotalamice, care controlează expresia emoțională și setea.

Stimularea electrică a ariei septale produce scăderea presiunii sanguine, a ritmului cardiac și a celui respirator la animalele anesteziate. Oomura și colab. (1967) au sugerat că stimularea septului inhibă neuronii hipotalamici, iar sindromul de furie și cel de polidipsie, care apar după lezarea septului, se datorează înlăturării efectului inhibitor al hipotalamusului, fapt care dirijează expresia emoțională și consumul de apă. Mogenson (1976) a constatat că septul are efecte inhibitorii primare asupra răspunsurilor fiziologice și comportamentale. Experiențele făcute de Siegel și Edinger (1976) au arătat că zona septală exercită o influență inhibitoare selectivă asupra procesului hipotalamic de atac și mușcare.

Este interesant faptul că zona nu inhibă aceste reacții hipotalamice, ceea ce demonstrează că septul exercită un control selectiv asupra proceselor hipotalamice. Mai mult, această constatare demonstrează că inhibiția septală a comportamentului de atac nu poate fi interpretată în termenii inhibiției generale a tuturor reacțiilor motrice. S-a arătat apoi că efectul septal de furie este mai evident în cazul lezării striilor terminalis și ventralis ale septului.

Olton și Gage (1976) au mai arătat că injectarea L-DOPA anulează rapid și permanent hiperreactivitatea dată de leziunile septale, adăugând astfel alt suport

ideii conform căreia apariția acestei hiperreactivității după leziunile septale se datorează epuizării catecolaminelor cerebrale și că revenirea reactivității la normal are loc odată cu reacumularea catecolaminelor.

Unele leziuni septale, în special cele ale septului posterior, produc hiperdipsie, în schimb, stimularea electrică a acestora determină reducerea consumului de apă (Lubar & colab. 1968). Unul din rolurile septului în reglarea apei este acela de a stimula în timpul deshidratării celulele nucleului supraoptic, pentru a elibera hormonul antidiuretic, cu rol în conservarea apei organismului.

### Aspecte funcționale ale sistemului septo-hipocampic

Septul și hipocampul sunt atât de strâns interconectate, încât funcția unuia nu poate fi luată în considerație fără referiri și la funcția celuilalt. Interconexiunile complexe dintre hipocamp și sept, precum și poziția septului la încrucișarea drumurilor unor multiple căi prozencefalice importante fac dificilă abordarea semnificației funcției sale generale cu ajutorul metodelor uzuale de lezare și stimulare. Un aspect important al conexiunilor septo-hipocampice se referă la producerea și dinamica ritmului teta. Ritmul teta reflectă cert un nivel de trezire cerebrală sau un anumit nivel de activitate cerebrală. Ritmul teta poate fi produs nu numai prin stimularea mezencefalului sau a hipotalamusului, ci efectiv el este obținut și prin stimularea nucleului septal medial, iar descărcarea unităților în sistem se sincronizează cu activitatea hipocampică. Stimularea hipocampică suprimă ritmul teta sau descrește frecvența sa, iar întreruperea axonilor hipocampici către sept sau a părții dorsale din fimbria-fornix descrește activitatea teta. Astfel la nivel septal, hipocampul acționează ca un antagonist al formațiunii reticulate activatoare, a cărei stimulare evocă explozia de teta în neuronii septali (Vinogradova și Brazhnik, 1978).

Fornixul dorsal (superior) constituie un canal prin care fibrele scurte cingulate sunt vehiculate către nucleul medial septal, iar fibrele lungi sunt dirijate către segmentul mezencefalic. Tegmentul mezencefalic (fibrele serotonergice) și nucleul medial septal se proiectează prin fornixul dorsal, pe subiculum și cortexul cingulat. Au fost descrise și proiecții din ariile corticale către celulele geniculate ale girusului dințat. Astfel, există o cale bidirecțională de la mezencefal la girusul dințat, care poate fi disruptă de mici leziuni ale fornixului dorsal.

Septul medial este constituit dintr-un grup celular major, care se proiectează către celulele teta hipocampice, ce pot acționa ca un pacemaker. S-a arătat că aria reticulată mezencefalică, din care activitatea teta poate fi evocată în sept și hipocamp, nu are o componentă ritmică în activitatea sa neurală. Totuși, mulți autori au relevat că septul poate fi privit ca un generator de ritm teta. În timp ce activitatea teta este păstrată în septul fără hipocamp, ea este absentă în hipocampul fără sept, conform datelor EEG hipocampice. După afirmația unor autori, toți neuronii hipocampici sunt activați de inputurile septale.



Unele date experimentale au relevat o descreștere drastică a efectului inhibitor general la nivelul hipocampului deseptalizat, ceea ce demonstrează că aferențele directe inhibitorii de origine septală din hipocamp reprezintă o posibilitate reală. Totuși, din influența generală supresivă a hipocampului nu decurge că există interneuroni inhibitori. Mai mult, se deduce că hipocampul activează selectiv unele structuri sau elementele inhibitorii.

Olton (1978) a studiat rolul conexiunilor septo-hipocampice în comportamentul organizat spațial. Autorul a relevat că prin distrugerea componentelor spațiale se produce un sever și persistent deficit în abilitatea rezolvării unei sarcini spațiale memorate.

Sistemul septo-hipocampic este legat și de controlul mișcării, dar mișcările voluntare nu sunt afectate de leziunile masive ale hipocampului, de distrucția ariei septale cu eliminarea ritmului teta, sau de transecțiuni ale fornixului, care, de asemenea, elimină ritmul teta. Dimpotrivă, producerea ritmului teta prin stimulare septală nu provoacă mișcări, ci poate chiar să reducă viteza acestora, deși mișcările sunt evidente când ritmul teta este produs prin stimularea hipocampică sau reticulată (James și colab., 1977). Blocarea ritmului teta determinată de stimularea septului sau a hipocampului, duce la oprirea unui comportament. Frecvența ritmului teta poate reflecta rata scurgerii prin sistem. Unii autori susțin că tranchilizantele minore (barbiturice, benzodiazepine și alcool) influențează comportamentul pe calea sistemului septo-hipocampic, fapt datorită căruia ele sunt utilizate în clinică pentru tratarea anxietății. Dacă ele reduc anxietatea prin diminuarea funcționării normale a sistemului septo-hipocampic, se poate trage concluzia că acest sistem constituie substratul neural al anxietății.

### **Regiunea septală și memoria**

Aria septală medială compusă din nucleul medial septal și brațul vertical al nucleului bandei diagonale Broca împreună cu nucleul bazal al lui Maynert sunt constituenții nucleului telencefalic colinergic magnocelular bazal. Ei emit proiecții colinergice și GABAergice la hipocamp și la alte componente ale lobului temporal, care aparțin sistemului hipocampic.

Descoperirea la pacienții cu maladie Alzheimer a degenerării neuronilor colinergici magnocelulari de la nivelul telencefalului bazal și a celor din aria septală medială (Price și colab., 1982, Arendt și colab., 1983) a focalizat interesul asupra rolului jucat în funcția memoriei de mecanismele colinergice septo-hipocampice. Există tendința de interpretare a efectelor dăunătoare asupra memoriei produse de lezarea telencefalului bazal și a căilor sale de proiecție hipocampică, ca fiind rezultate numai din deaferentarea colinergică. Aici este ignorat faptul că mulți neuroni septali, care trimit proiecții către hipocamp nu sunt colinergici ci GABAergici. Pe de altă parte, telencefalul bazal, care cuprinde și aria septală este localizat la nivelul unui important punct de ramificație, unde urcă trei

căi monoaminergice importante-sistemul noradrenergic, serotoninergic și dopaminergic, care prin intermediul fasciculului telencefalic medial inervează printre alte formațiuni și regiunea hipocampică. În fine, unele eferențe hipocampice și din subiculum direcționate către nucleul septal lateral, hipotalamus și nucleul accumbens se termină sau trec prin regiunea septală.

O leziune telencefalică bazală va avea, astfel, efecte multiple.

Dacă este limitată de aria septală medială, ea va priva hipocampusul și componentele corticale temporale adiacente sistemului hipocampic, de aferențele colinergice și GABAergice de origine septală. Dacă leziunea este mai mare, poate întrerupe inputurile noradrenergice, serotoninergice și dopaminergice către regiunea hipocampică. Mai mult, ea va distruge și eferențele comportamentele temporale ale sistemului hipocampic îndreptate către septul lateral, nucleul accumbens și hipotalamus. Astfel, leziunile regiunii septale afectează funcție hipocampusului, dar adesea este dificil de atribuit deficitele specifice rezultate, unuia din aceste sisteme. Apoi leziunile telencefalice bazale, care întrerup sistemele colinergic și monoaminergic va afecta nu numai aria hipocampică, dar și întregul cortex cerebral precum și amigdala.

Unele efecte ale lezării acestei arii sunt cauzate de distrucția celulelor din această regiune care trimite proiecții la hipocampus, în timp ce altele sunt date de întreruperea căilor care trec prin el.

Paradoxal este faptul că acidul ibotenic, care induce leziuni celulare provoacă deficitele comportamentale mai marcate decât cele induse de acidul quisqualic deși acidul ibotenic produce o deaferentare colinergică de grad mai mic (Dunnett și colab., 1991).

**Studii experimentale pe animale.** Leziunile regiunii septale mediale, la șobolan, produc deficite de memorie și învățare cunoscute a fi sensibile la lezarea hipocampusului (Olton, 1990; Aigner și colab., 1991; Kesey și Vergas, 1993). Aceste efecte variabile (ușoare, tranzitorii sau nedemonstrabile) afectează predominant învățarea spațială și memoria cu privire la scurgerea timpului.

Lezarea sau inactivarea complexului benzii septale diagonale produce un deficit de tip hipocampic, deoarece această parte a telencefalului bazal proiectează către hipocampus și către componentele temporale mediale adiacente sistemului hipocampic. Lezarea sau inactivarea nucleului bazal Maynert, interferează cu sarcinile sensibile la lezarea lobului frontal sau a amigdalei (Givens și Olton, 1990, 1994).

Lezarea ariei septale este insuficientă pentru a produce o deaferentare colinergică semnificativă a hipocampusului.

Printre sistemele modulatorie, care se proiectează pe hipocampus, sistemul colinergic nu este unic în susținerea funcției memoriei deși el este cel mai important.

Disrupția combinată a impulsurilor colinergice și noradrenergice sau a celor colinergice și serotoninergice către hipocampus are efecte mai distructive asupra funcției memoriei decât deaferentarea numai a sistemului colinergic (Richter-Levin



și Segal, 1991; Decker și Mc Gaugh, 1991). Acest fapt poate explica de ce efectele transecțiunii fornixului asupra memoriei sunt mai severe decât cele ale leziunilor excitotoxice ale substanței cenușii septale.

Faptul că sistemul colinergic joacă un rol major în mecanismul memoriei este sugerat de numeroase observații. Deficitul de memorie indus de lezarea fornixului șobolanului și maimuței sau rezultat din îmbătrânirea șobolanului se ameliorează mult prin implantarea în hipocamp a neuronilor septali embrionici (Nilsson și colab., 1987; Ridley și colab., 1991).

Implantele de neuroni acetilcolinici duc la stabilirea funcțională a conexiunilor sinaptice cu neuronii hipocampici și la restabilirea inervației colinergice (Dunnett și colab., 1982; Low și colab., 1982).

Ameliorarea produsă de grefa septală este abolită de antagonistul muscarinic atropina (Nilsson și colab., 1987). Sistemul modular monoaminergic exercită influență asupra mecanismelor învățării și memoriei prin interacțiunea sa cu sistemul colinergic. Separat, ele au efecte slabe asupra mecanismelor memoriei. Astfel, leziunea sau blocarea sistemului serotoninergic sau noradrenergic nu afectează performanțele învățării spațiale la șobolan, dar leziunile septale sau scopolamina perturbă mult învățarea spațială. Acest deficit este accentuat la animalele cu blocaj colinergic (Nilsson și colab., 1988; Richter și Segal 1991).

Implantarea neuronilor fetalii noradrenergici în hipocampul șobolanilor cu fornixul lezat nu ameliorează deficitul de învățare (Dunnett și colab., 1982), dar grefa combinată de țesut serotoninergic din rafeu cu țesut septal colinergic induce o ameliorare semnificativă (Nilsoon și colab., 1990). Grefa septală ameliorează deficitul de memorie produs de transecțiunea fornixului. Este posibil ca beneficiul adus de grefa septală la animalele fornicotomizate să fie dependent de prezența unor inervații serotoninergice reziduale din hipocamp (Nilsson și colab., 1990).

Rolul exercitat de structurile localizate în regiunea septală asupra mecanismelor memoriei nu poate fi comparabil cu cel al structurilor hipocampice. Anatomic este improbabil ca septul și sistemul monoaminergic să reprezinte substratul procesării informațiilor specifice, dar sistemele de proiecție, care transportă date senzoriale sau de altă natură pot fi utilizate de către hipocamp pentru construirea entităților sale anatomice. Septul și structurile care dau naștere proiecțiilor monoaminergice nu pot primi inputuri structurale diferențiate din ariile cortexului cerebral, care prelucrează semnalele senzoriale și care contribuie la formarea constructelor perceptuale sau cognitive (Gloor, 1997). Mai degrabă, rolul septului colinergic și al grupului de celule monoaminergice din trunchiul cerebral împreună cu proiecțiile acestora către hipocamp, care eliberează acetilcolina și monoamina, iau parte la crearea condițiilor fiziologice din circuitele hipocampice sub dependența cărora procesarea semnalelor de ordin înalt la formarea anumitor tipuri de memorie. Inputurile din aceste sisteme către hipocamp furnizează un suport modular capabil a procesa semnalele primite de la cortexul cerebral pe căi extrem de diferite, necesare pentru tipurile de memorie și învățare dependente de hipocamp.

Totuși, grefele care stabilesc conexiuni funcționale cu țesutul gazdă prin dezvoltarea în hipocamp a fibrelor cu acetilcolină și monoamine, pot să nu contribuie la refacerea circuitelor aferente specifice mediatore de inputuri senzoriale procesate cortical.

Acetilcolina (ACh) și monoaminele acționează asupra neuronilor post sinaptic prin întărirea proporției semnal/zgomot în răspunsul acestora și prin crearea condițiilor conductive în cazul modificărilor sinaptice plastice.

Dispariția influențelor modulare afectează abilitatea neuronilor hipocampici de a integra informațiile venite din diferite surse corticale. Prin urmare, neuronii hipocampici par a fi dependenți de influența modulatorie a sistemului colinergic.

**Leziunile regiunii septale la om.** La om, lezarea regiunii septale produce amnezie cuplată adesea cu hiperemotivitate certă. Amnezia este anterogradă și într-un grad mai mic retrogradă. Ea este limitată la formele de memorie dependentă de hipocamp și nu include memoria procedurală sau de pregătire. Afectarea se reflectă asupra componentelor verbale și nonverbale (Gade, 1982; Damasio și colab., 1985; Phillips și colab., 1987; Berti și colab., 1990; Morris și colab., 1993; Markowitsch și colab., 1993).

În majoritatea cazurilor, leziunea a fost un infarct cauzat probabil de ocluzia ramurilor perforante ale arterei comunicante anterioare, care vascularizează lamela medială și paramedială a țesutului extins de la suprafața ventrală a telencefalului bazal până la sept, corpul calos rostral și uneori până la aria cingulată anterioară (Alexander și Freedman 1984). Diagnosticul anatomic este pus cu ajutorul TC și al IRM.

Într-un caz autopsiat leziunea implica septul precomisural, nucleul benzii diagonale Broca, nucleul accumbens și segmentul ventral al brațului anterior al capsulei interne. Implicarea nucleului accumbens prezintă interes, deoarece lezarea simetrică a acestuia la șobolan, care primește aferențe subiculare, produce defici de memorie spațială (Sutherland și Rodriguez, 1989). Leziunile telencefalice bazale foarte mici produc amnezie (Morris și colab., 1992). Aceasta implică o regiune mică, ventrală, din telencefalul bazal drept, în care este cuprinsă banda diagonală Broca dar nu și nucleul septal situat dorsal de aceasta, porțiunea adiacentă a nucleului accumbens și posibil o parte din fornixul precomisural de partea dreaptă. În ciuda acestei localizări drepte amnezia nu a fost specific materială ci a afectat în mod paradoxal mai mult memoria verbală decât cea nonverbală.

În maladia Alzheimer, neuronii colinergici din regiunea septală sunt pierduți în contextul afectării mai difuze a acestora observată la nivelul telencefalului bazal (Arendt și colab., 1983). La pacienții cu amnezie cauzată de lezarea regiunii septale, PET și SPECT demonstrează o scădere a activității metabolice la nivelul regiunii temporale mediale (Damasio și colab., 1985).

Acest fapt demonstrează că leziunea septală duce la diminuarea activității neuronilor regiunii hipocampice. Faptul vine în acord cu datele obținute de la animalele de experiență conform cărora septul și căile monoaminergice, care îl traversează exercită o funcție modulatorie asupra neuronilor hipocampici.



## Ganglionii bazali

Ganglionii bazali sunt implicați în funcția motorie și în sistemul extrapiramidal. O parte din ganglionii bazali, striatul este compus din nucleul caudat, putamen, tuberculul olfactiv și din nucleul accumbens. Recent, nucleul caudat a atras atenția pentru rolul său în producerea tulburărilor compulsiv-obsesive și a celor din sindromul lui Tourette. El este implicat în funcția motorie și modularea durerii, simptome relevante ale sindromului de oboseală cronică (Goldstein, 1993).

Aria striatală primește proiecții limbice limitate de la nucleul accumbens și de la tuberculul olfactiv. Acete structuri sunt cunoscute sub denumirea de striat limbic. Având o inervație predominant dopaminergică, ele au fost investigate pentru rolul lor în schizofrenie. Alt component al ganglionilor bazali, globus pallidus, prezintă și el conexiuni limbice prefrențiale.

Neuronii din porțiunea ventrală a palidusului răspund la stimulările amigdaloidale prin intermediul nucleului accumbens.

## Talamusul

Această complexă structură anatomică, funcționează ca stație releu pentru inputurile nervoase senzoriale. Nucleii talamici cei mai familiari sunt cei bazali laterali, care conduc informațiile senzoriale către cortexul idiotipic (ariile senzitive primare). Unele arii ale nucleilor bazali laterali au legătură cu cortexul asociativ unimodal (izocortex), iar alte arii întinse se conectează cu cortexul heteromodal limbic și paralimbic. Funcția acestora nu este bine cunoscută. Nucleii talamici reticulari intralaminari primesc aferențe de la sistemul reticulat activator, după care se proiectează difuz pe cortexul cerebral. Durerea talamică, entitate bine cunoscută în neurologie, se datorează leziunilor talamice distructive. Acest tip de durere, cu mic deficit senzorial, se asociază adesea cu disestezii și parestezii. Ea este cunoscută și sub denumirea de durere centrală.

Hipotalamusul și sistemul limbic. Constanta mediului intern al corpului este menținută prin sistemul mecanismelor de control, care limitează variația funcțiilor organismului. Tendința către stabilitate a corpului poartă numele de homeostazie, concept introdus în anul 1932 de către Cannon.

Cheia mecanismelor neurale legate de menținerea homeostaziei este localizată în hipotalamus. Acesta acționează asupra a trei sisteme majoritare: a) sistemul neural definit în mod eronat ca fiind legat de motivație; b) sistemul nervos autonom și c) sistemul endocrin.

Hipotalamusul primește informații direct din mediul intern și acționează direct asupra acestuia.

Sistemul nervos somatic (telencefalul) primește informații directe din mediul extern și acționează indirect asupra mediului intern al organismului prin intermediul structurilor sistemului limbic. Sistemul limbic interpus între formațiunile care

recepționează stimulii externi și cele care dirijează mediul intern al organismului are rol integrativ, adaptiv și homeostazic, atât asupra funcțiilor interne, cât și asupra comportamentului. Căile directe și indirecte care reglează mediul intern și transformă pe cel extern funcționează paralel. De exemplu, omul poate menține temperatura corpului constantă prin vasoconstricție, prin vasodilatație periferică sau prin modificarea mediului extern (încălzirea sau răcirea acestuia).

Hipotalamusul are conexiuni multiple cu structurile corticale care fac parte din sistemul limbic.

Pe baza unor experimente care au sugerat că hipotalamusul are un rol critic în expresia emoțiilor, Papez a argumentat că emoțiile ating conștiința și gândirea, iar funcțiile înalt cognitive influențează emoțiile prin intermediul conexiunilor reciproce hipotalamo-corticale. El a mai afirmat că respectivul cortex influențează hipotalamusul prin intermediul conexiunilor pe care girusul cinguli le are cu formațiunea hipocampică. Conform acestei idei, formațiunea hipocampică prelucrează informațiile, după care le proiectează către corpii mamilari ai hipotalamusului pe calea fornixului. Hipotalamusul informează la rândul său girusul cinguli printr-o cale care pornește de la corpii mamilari, ajunge la nucleul talamic anterior (tractul mamilotalamic) și de aici la girusul cinguli.

Ulterior, conceptul de sistem limbic a fost extins de către Mac Lean, care a inclus în el și alte structuri funcționale și anatomice deja amintite.

Studiile anatomice care susțin schema sistemului limbic au demonstrat existența unor conexiuni directe și extensive între ariile neocorticale, formațiunea hipocampică și amigdală. Aceste studii arată că hipocampusul primește majoritatea inputurilor sale de la cortexul entorinal pe calea substanței perforate anterioare.

Cortexul entorinal primește, la rândul său, inputuri de la ariile corticale asociative, realizând astfel o legătură strânsă între neocortex și sistemul limbic.

Fibrele cortexului entorinal ajung la hipocampus prin intermediul căii perforate, trec prin subiculum (arie a cortexului care primește inputuri majore de la hipocampus) și stabilesc extensive conexiuni reciproce cu numeroase arii neocorticale. În subiculum (pre și parasubiculum), își au originea fibrele fornixului, care inervează hipotalamusul.

Fornixul conține și axonii celulelor piramidale hipocampice, care inervează structurile nonhipotalamice. Semnificativ este faptul că la om subiculum este mai mare.

## Amnezia diencefalică

De foarte mult timp se știe că leziunile diencefalice produc la om amnezie. Majoritatea datelor provin din studierea postmortem a pacienților cu sindrom alcoolic Korsakov sau cu o varietate de leziuni talamice determinate de infarcte. Deși substratul anatomic al amneziei diencefalice nu este pe deplin clarificat, este evident faptul că leziunile, care implică diferite avantposturi ale sistemului hi-



pocampic, cum ar fi nucleii mamilari, nucleul talamic anterior, porțiunea magnocelulară a nucleului mediodorsal și nucleii de linie mediană adiacenți, împreună cu conexiunile acestor variate structuri, sunt afectați fie singuri, fie cel mai adesea în conjuncție cu diferite combinații, în cazul amneziei diencefalice.

Rolul precis al acestor structuri în mecanismele memoriei diencefalice este încă incert. Studiile experimentale pe animale au arătat că sistemul hipocampic este legat de memoria de recunoaștere și de memoria spațială. Astfel, leziunile bilaterale ale porțiunii magnocelulare a nucleului mediodorsal, care primește inputuri din subdiviziunea peririnală-entorinală a sistemului hipocampic dar nu din hipocamp, afectează memoria de recunoaștere, efectul memoriei spațiale fiind mic sau absent. Invers, lezarea nucleului talamic anterior și a regiunii mamilare, care primesc inputuri de la regiunea hipocampică (în principal de la subiculum), afectează mai ales memoria spațială. Această dicotomie nu emerge din studiul materialului clinic prin faptul că leziunile spontane de la om implică elementele ambelor sisteme.

**Studii experimentale pe animale.** Lezarea porțiunii magnocelulare a nucleului talamic dorso-medial.

La primate, acesta primește inputuri din structurile lobului temporal medial și de la izocortexul temporal rostral, care după procesare ajung la cortexul frontal orbital și median.

Deficitele de memorie cauzate de lezarea nucleului dorso-medial și a conexiunilor sale aferente provenite din regiunea temporală antero-medială se aseamănă cu cele rezultate din lezarea lobului temporal antero-medial, datorită întreruperii ciclului memoriei centrat pe amigdală și pe conexiunile sale cu nucleul dorso-medial (Mishkin și Appenzeller, 1987; Graff-Radford și colab., 1990).

Corolarul acestui punct de vedere este că hipocampus comandă circuite paralele de memorie, care includ fornixul, corpii mamilari și proiecțiile sale către nucleul talamic anterior. Circuitul care leagă lobul temporal antero-medial nu este centrat numai pe amigdală, ci și pe unii constituenți ai sistemului hipocampic cum ar fi cortexul entorinal, peririnal și subiculum, sistemului olfactiv, izocortexul temporal anterior și telencefalul bazal.

Majoritatea acestor structuri primesc inputuri de la toate ariile superioare multimodale, care au de-a face cu recunoașterea senzorială.

Totuși, deficitele de memorie, care rezultă din lezarea nucleului mediodorsal și a aferentelor sale nu trebuie privite ca reflectând numai întreruperea circuitului amigdalotalamic.

Datele experimentale susțin că lezarea bilaterală a nucleului dorsomedial produce deficite similare cu cele care rezultă din lezarea acestor părți ale sistemului hipocampic, care au legătură cu memoria de recunoaștere vizuală, în care putem încadra cortexul piramidal și entorinal, dar și pe cele care rezultă din lezarea amigdalei ca de pildă modificarea comportamentului afectiv (Hunt și Aggleton, 1991). Degradarea memoriei de recunoaștere vizuală este mult exacerbată când leziunea este mai largă și cuprinde în afara nucleului dorsomedial, nucleul talamic

anterior al liniei mediale și tractul mamilotalamic, fapt care duce la degenerarea retrogradă a nucleilor mamilari (Aggleton și Mishkin, 1983).

După lezarea bilaterală a amigdalei apar deficite de memorie pe termen lung privind valoarea hedonică a unei recompense (Gaffan și Murray, 1990; Gaffan și Watkins, 1991). Prin urmare, nucleul dorsomedian participă în particular la funcțiile amigdalei legate de efectul care implică o înțelegere asociativă. Rolul porțiunii magnocelulare a nucleului dorsomedial în acest proces de memorie a dus la concluzia că el face parte dintr-un circuit de memorie integrată în care este inclus cortexul frontal ventromedial, pe care se proiectează și care este conectat reciproc și mai direct cu amigdala și componentele temporale ale sistemului hipocampic (Bachevalier și Mishkin, 1986; Mishkin și Appenzeller, 1987). Într-adevăr, leziunile simetrice, bilaterale frontale ventromediale (majoritatea orbitofrontale) afectează memoria de recunoaștere vizuală și învățarea asociativă stimul-recompensă, similare cu cele produse de lezarea structurilor mediale temporale sau a porțiunii magnocelulare ale nucleului talamic dorsomedial (Gaffan și Murray, 1990).

- *Lezarea nucleului talamic anterior.* Nucleul talamic anterior primește aferente principale de la complexul subicular direct prin fornix sau indirect prin bucla fornixului, de la nucleii mamilari și de la tractul mamilotalamic. Lezarea nucleului talamic anterior afectează memoria spațială. Transecțiunea fornixului sau lezarea hipocampului produce deficite similare, dar lezarea corpiilor mamilari nu are nici un efect (Aggleton și Sahgal, 1993). Acest fapt arată că deficitul apărut după lezarea talamică anterioară nu poate fi atribuit întreruperii buclei mamilo-talamo-hipocampice, el fiind independent și de sistemul mamilar.

Totuși, nu toate sarcinile spațiale pot fi sensibile la lezarea nucleului anterior, dar nucleul talamic anterior poate contribui la memoria de recunoaștere. Lezarea la maimuță a liniei mediane a talamusului, care implică nucleul talamic anterior, nucleii liniei mediane anterioare și partea rostrală a nucleului dorsomedial produce o afectare mai severă a memoriei de recunoaștere vizuală decât leziunile mai posterioare, care includ nucleul magnocelular (Aggleton și Mishkin, 1983).

- *Lezarea regiunii mamilare.* Remarcabilele caracteristici anatomice ale sistemului fornix-mamilar vin în contradicție cu sărăcia informațiilor privind semnificația funcțională. Sursa fibrelor, care conectează formațiunea hipocampică cu nucleii mamilari o constituie complexul subicular. Fibrele, care se întorc de la nucleii mamilari la complexul subicular trec prin nucleul talamic anterior. Imediat adiacent nucleilor mamilari se află regiunea supramamilară care primește inputuri indirecte de la hipocamp prin nucleul septal, dar în contrast cu nucleii mamilari acesta emite o proiecție directă către hipocampul propriu (Gloor, 1997). Lezarea regiunii nucleilor mamilari la șobolan, produce deficite variabile de învățare spațială și de memorie (Saravits și colab., 1990; Sziklas și Petrides, 1993).

Leziunile mari, care distrug în întregime nucleii mamilari și supramamilar, dar care afectează aria tegmentală ventrală și fasciculul telencefalic, nu afectează performanțele nonspațiale.



Efectele specifice ale leziunilor regiunii mamilare asupra sarcinilor spațiale argumentează încă o dată noțiunea conform căreia, lezarea sistemului monoaminergic din aria tegmentală ventrală și a fasciculului telencefalic medial, poate fi cauza deficitului de memorie spațială și nespațială.

Lezarea la maimuță a nucleilor mamilari produce o afectare discretă sau temporară a memoriei de recunoaștere vizuală, care dispare cu timpul (Zola-Morgan și colab., 1989), dar unele deficite de memorie spațială rămân.

**Studiul leziunilor la om.** Sindromul alcoolic Korsakow este caracterizat prin amnezie anterogradă și retrogradă, dezorientare amnestică, confabulații și false recunoașteri, întâlnite mai frecvent în demența senilă. În anul 1881, Gudden a demonstrat prezența leziunilor corpilor mamilari în creierul pacienților cu stare amnezică determinată de consumul de alcool din cadrul sindromului Korsakow. Într-adevăr, aceste leziuni au fost întâlnite la autopsia tuturor cazurilor cu un astfel de sindrom (Victor, 1995). Recent a devenit posibilă demonstrarea *in vivo* a atrofiei corpilor mamilari cu ajutorul RM (Squire și colab., 1990). Unii autori (Gamper, 1929; Malamud și Skillicorn, 1956; Brion și Mikol, 1978) au atribuit starea amnezică din sindromul Korsakow, acestor leziuni mamilare.

Totuși, situația nu este atât de simplă, deoarece în afara afectării corpilor mamilari în creierul pacienților respectivi există și alte leziuni.

În acest proces patologic sunt implicați și diferiți nuclei talamici care au relații cu structurile lobului temporal mediu. Porțiunea medială (magnocelulară) a nucleului dorsomedial este cel mai comun afectată, mai puțin lezați fiind nucleii laterodorsal, pulvinar medial și nucleii anteriori ai liniei mediane. În contrast cu nucleii mamilari a căror leziune predominantă este glioză și proliferarea vasculară cu păstrarea multor neuroni, în ariile afectate ale talamusului, pierderea celulelor nervoase reprezintă patologia determinantă. Păstrarea multor neuroni în nucleii mamilari poate explica lipsa comună a demielinizării tractului mamilotalamic. Alte arii mai puțin implicate sunt reprezentate de restului hipotalamusului și de materia cenușie periventriculară și periapeductală. În plus, s-au găsit demielinizări și frecvente în porțiunea centrală a pilierilor fornixului. La unii pacienți cu sindrom Korsakov s-a demonstrat o ușoară pierdere celulară în sectorul CA1 al hipocampului și în cortexul frontal (Victor și colab., 1971; Mayes și colab., 1988; Victor, 1995). Oricum, este dificil de atribuit amnezia din sindromul Korsakov lezării unei singure structuri. Victor și colab. (1971) arată că lezarea nucleului dorsomedial are cel mai important rol în amnezie dar Mayes și colab., (1988) au avut pacienți cu sindrom Korsakov, care nu prezentau nici o patologie semnificativă a nucleului dorsomedial.

După analiza materialului cazuistic, Mair și colab. (1979) conchid că leziunile mamilare sunt cauza principală a sindromului Korsakov.

Totuși, deficitele moderate de memorie restrânse la domeniul spațial, relevate la animalele de experiență după distrugerea mamilară pun la îndoială afirmația de mai sus. Starea de amnezie profundă din sindromul Korsakov se datorează

probabil combinării diferitelor leziuni diencefalice, fiecare afectând nucleii sau tracturi de fibre care se conectează cu structurile temporale mediale (Gloor, 1997). Mc Entee și Mair (1990) au arătat că interferența cu funcția aminoaminergică poate contribui la apariția amneziei din sindromul Korsakov.

Grupul căilor și celulelor monoaminergice localizate în regiunea trunchiului cerebral și a hipotalamusului afectate de encefalopatia Wernicke dă naștere sindromului Korsakov.

Acest punct de vedere vine în acord cu observația conform căreia metabolismii noradrenalinei și dopaminei diminuează în LCR-ul pacienților cu sindrom Korsakov. Amnezia din sindromul Korsakov este similară cu cea de la pacienții cu leziuni temporale mediale (Zola-Morgan și colab., 1986; Squire și colab., 1989). Contrar datelor obținute la animalele cu leziuni mamilare, memoria spațială nu este afectată în mod disproporționat în sindromul Korsakov (Mac Andrew și Jones, 1993). Totuși, pacienții cu acest sindrom au unele caracteristici neîntâlnite la bolnavii cu leziuni temporale mediale. În particular, ei au deficite în domeniul funcției lobului frontal (Squire, 1982). În acest sens, au fost puse în evidență pe cale radiologică (Shimamura și colab., 1988) și histologică (Mayes și colab., 1988), atrofii corticale frontale. Apoi confabularea nu reprezintă o caracteristică a amneziei temporale mediale.

### **Amnezia diencefalică în alte afecțiuni decât în sindromul Korsakov**

Sindromul Korsakov rezultă din combinarea diferitelor leziuni diencefalice, care afectează ariile conectate cu structurile lobului temporal medial.

Sindromul amnezic poate apărea și în cazul altor leziuni. Aici putem aminti aspectul bine studiat al pacientului M.A. al cărui creier a fost penetrat de o floretă prin nara dreaptă (Teuber și Milner, 1968; Squire și colab., 1989). După mai mulți ani, evaluarea exactă a leziunilor a putut fi făcută cu ajutorul IRM.

În complexul lezional au fost implicate lamina medulară internă, nucleii intralaminari și ai liniei mediale, nucleul dorsomedial, nucleul ventral anterior, nucleul ventrolateral, tractul mamilotalamic (aparținând talamusului stâng) și fornixul postcomisural. A existat și distrucția bilaterală a nucleilor mamilari. Lezarea parțială a polului temporal drept, a amigdalei și a cortexului entorinal a fost făcută în cursul repetării fistulei LCR.

Deficitul de memorie al bolnavului N.A. a fost predominant anterograd dar nu în totalitate.

În conformitate cu localizarea leziunii talamice de partea stângă el avea afectată aproape în exclusivitate memoria verbală și foarte puțin ce nonverbală.

În literatură, există și alte rapoarte de cazuri cu amnezie diencefalică la care TC, IRM sau studiile postmortem au demonstrat prezența leziunilor talamusului paramedian anterior sau posterior, precum și a implicării nucleilor mediodorsal (Graff-Radford și colab., 1985, 1990; Mori și colab., 1986; Julien și colab., 1990;



Hodges și Mc Carthy, 1993 etc.). Majoritatea leziunilor simetrice și circumscrise interesau talamusul anteromedial. Cele mai multe au rezultat din infarctizarea teritoriului talamo-subtalamic paramedian, determinată de ocluzia arterelor perforante, care iau naștere frecvent din cerebrala posterioară stângă, dreaptă sau comunicanta posterioară. Aceste infarcte produc un sindrom caracterizat prin amnezie asociată cu paralizia privirii în sus (Barbizet și colab., 1981; Graff-Radford și colab. 1985; etc). Ocluzia trunchiului arterial poate cauza infarcte talamice ischemice, care implică de obicei nucleul dorsomedial. Totuși, la nici unul nu a fost afectat numai nucleul dorsomedial (Markowitsch, 1982).

Frecvent, este implicat tractul mamilotalamic, pe care Graff-Radford și colab. (1990) îl consideră crucial în cauzarea amneziei acestor pacienți, aceasta datorită întreruperii fibrelor terminale ale pedunculului talamic extracapsular, care trece prin calea amigdalofugală ventrală. Totuși, întreruperea fibrelor tractului reprezintă unicul tip de leziune ce cauzează amnezia diencefalică. Acest fapt este sugerat de observația conform căreia pierderea neuronală bilaterală din nucleii talamic anterior și dorsomedial rezultată din degenerarea ereditară, este asociată cu amnezie, insomnie și mioclonus (Julien și colab., 1990). Astfel, pierderile celulare numai din acești nuclei pot fi suficiente pentru cauzarea amneziei.

Și pierderile neuronale din oliva inferioară din partea de jos a trunchiului cerebral pot fi relevante pentru amnezie.

Din analiza critică a datelor din literatură privind amnezia diencefalică reiese că amnezia cauzată de lezarea talamusului anteromedial implică nucleul talamic dorsomedial în afara căruia, adesea, sunt implicate căile și structurile nucleare din vecinătate ca de pildă nucleul anterior, tractul mamilotalamic și radiațiile terminale ale pedunculului talamic extracapsular. Leziunile care afectează numai una din aceste structuri, dar bilateral, au efecte relativ mici asupra memoriei, dar deficitul crește paralel cu numărul structurilor lezate. Prin urmare, efectele acestor leziuni sunt cumulative, iar în combinație ele pot cauza un sindrom amnestic sever (Graff-Radford și colab., 1990). Secționarea bilaterală, la maimuță a fornixului sau a căilor amigdalofugale ventrale nu produce nici o afectare a memoriei de recunoaștere vizuală, dar secționarea bilaterală a acestor căi cauzează un deficit semnificativ de memorie (Bachevalier și colab., 1985). La om, amnezia rezultată din leziunile talamice paramediane bilaterale, din regiunea nucleului dorsomedial, indiferent de etiologie, este predominant anterogradă și afectează atât materialul verbal cât și pe cel nonverbal. În faza acută a bolii este afectată foarte mult și memoria retrogradă dar care cu timpul se clarifică. Totuși, Hodges și Mc Carthy (1993) au descris și o amnezie retrogradă persistentă, referitoare în particular, la materialul autobiografic.

Deficitele de memorie specific materiale, verbale sau nonverbale, pot apărea și în cazul leziunilor talamice paramediane unilaterale sau marcat asimetric, dar leziunile stângi produc un deficit de memorie predominant verbal (Squire și Slater, 1978; Mori și colab., 1986; Squire și colab., 1989). Leziunile care implică

talamusul paramedian drept produc predominant deficite de memorie nonverbală (Guberman și Stuss, 1983). Aceste observații arată că specializarea hemisferică pentru encodarea memoriei specific materiale se extinde și asupra talamusului, care este dependent de structurile temporale implicate în procesarea materialului specific.

## Cortexul cerebral

Pe baza structurii, cortexul cerebral a fost împărțit în simplu, unidiferențiat (corticoid) și complex.

Nucleii septali, substanța nenumită, nucleii amigdaloiți, hipocampul și cortexul piriform reprezintă exemple de structuri arhicorticale sau allocorticale. Structurile corticoide sau allocorticale au una sau două pături de neuroni și intră în alcătuirea de bază a sistemului limbic.

Datele de anatomie comparată arată ca arhicortexul reprezintă cea mai veche formațiune corticală, fapt datorită căruia Brodmann a denumit-o arhipallium.

Vogt și Economo l-au denumit allocortex, din cauză că arhipalliumul prezintă o dispoziție structurală simplă formată din 2-3 straturi.

Neopalliumul, care are o structură fundamentală mai complexă formată din șase straturi, a fost denumit de aceiași autori izocortex.

Cortexul pliform are o funcție incomplet elucidată. Totuși, lobul olfactiv aduce inputuri chimice către creier pe calea mirosului, singura modalitate senzorială care nu are nici o legătură cu talamusul. El are o mare densitate de receptori pentru IL-1. Cortexul piriform are legături directe cu structurile limbice, cu hipotalamusul și cu regiunile paralimbice. La mamiferele inferioare majoritatea inputurilor sistemului limbic provin de la lobii olfactivi și de la cortexul piriform. La om aceste căi mai există, dar au fost înlocuite în mare parte cu căile vizuale și cele ale cortexului orbitofrontal. Acest cortex, inclus în sistemul limbic, are împreună cu insula și cortexul cingulat, căi directe, care ajung la trunchiul cerebral, în special la punte și mezencefal.

Substanța nenumită formată dintr-o masă cenușie, situată sub nucleul lentiform, se extinde către complexul amigdaloid. Partea rostrală a acesteia ajunge sub cortexul substanței perforate anterioare. Porțiunea bazală a regiunii septale se continuă lateral și caudal de regiunea preoptică cu substanța nenumită.

Ariile din jurul sistemului limbic numite paralimbice au o structură histologică mai complexă, mezo-corticală.

La om, există cinci structuri paralimbice majore: cortexul orbitofrontalcaudal, insula, polul temporal, girusul parahipocampic și cortexul cingulat. Aceste regiuni formează în jurul bazei creierului un inel denumit și limbos.

Majoritatea suprafeței corticale aparține izocortexului. Ariile sale asociative homotipice pot fi unimodale și heteromodale. Izocortexul unimodal este limitat la o singură modalitate senzorială asociativă, cum ar fi auzul. Acest izocortex asociativ unimodal prelucrează inputurile pure, sarcină vitală pentru supraviețuire.



Izocortexul heteromodal are neuroni care răspund la mai multe modalități senzoriale, iar structura sa este similară cu cea a izocortexului unimodal. Cortexul asociativ heteromodal împreună cu cel paralimbic prelucrează informațiile într-un mod mult mai general și le integrează în motivație, afect, experiență și chiar în personalitate.

Ariile heteromodale, care asigură prelucrarea informațională senzorială pentru ariile motivaționale ale cortexului paralimbic, includ : cortexul prefrontal, girusul supramarginal, aria parieto-occipitală-medială, lobul parietal inferior și girusul angular.

Regiunile corticale idiotipice includ ariile înalt diferențiate motorii și senzitive primare (cortexul vizual, auditiv, somatosenzorial și motor). Cortexul idiotipic este ușor influențat de activitatea limbică. Prin urmare, el are rolul de a acționa asupra organismului și asupra sistemului său comportamental, deoarece inputurile sale senzoriale și motorii primare nu sunt însoțite de instrucțiuni colorate, cu emoții și stări motivaționale. Ariile idiotipice și ariile corticale unimodale sunt dedicate unei singure modalități de transfer informațional, în timp ce ariile heteromodale împreună cu cele paralimbice posedă numeroase inputuri și outputuri, care nu pot fi atribuite unei anumite specilaizări. Ariile adiacente comunică una cu alta mult mai mult decât o fac ariile neadiacente. Hipotalamusul și sistemul limbic au multe comunicații și influențe directe, în timp ce, cu câteva excepții, influențele hipotalmice directe asupra restului cortical sunt relativ minore.

Există prin urmare cinci tipuri de cortex, a căror structură trece de la simplu la complex și diferențiat. Localizarea cerebrală a acestora sugerează modul în care ele se leagă de anumite funcții. Structurile limbice sunt mai strâns unite cu hipotalamusul, reglatorul de bază al mediului intern și generatorul instinctelor și motivațiilor. Sistemul limbic este implicat în multe funcții hipotalamice, cum ar fi memoria, învățarea și unele activități sociale unice la mamifere, importante pentru supraviețuirea speciei.

Implicarea sistemului limbic în memorie este bine cunoscută. Nu poate exista nici o stare amnestică fără disfuncția sistemului limbic.

Astfel, leziunile hipocampice produc tulburări caracteristice în achiziționarea noilor date de memorie, dar în cazul afectării ambelor formațiuni hipocampice și a amigdalelor, memoria este mult mai sever tulburată. Și lezarea ariilor paralimbice, care transmit informațiile din ariile corticale către hipocamp, pot da tulburări de memorie. Pe de altă parte, este acceptat faptul că ariile paralimbice împreună cu unele structuri limbice reglează afectul și motivația. Ceea ce nu este bine înțeles, este gradul în care ele determină controlul autonom mai înalt prin intermediul mecanismelor de transducție endocrină. În mod tradițional, sistemul limbic este asociat cu emoția, dar modificările nervoase autonome care apar în cazul stărilor emoționale, deși au fost discutate în literatura de specialitate, nu au fost integrate pe deplin în funcția organismului.

Din această cauză, la sfârșitul acestui capitol vom relata câteva date cu privire la rolul sistemului nervos vegetativ (autonom) în menținerea homeostaziei.

Astfel, lezarea zonei limbice produce tulburări profunde de memorie, motivație, afect, control neuroendocrin, tonus autonom și de imunoreglare.

Ariile heteromodale împreună cu cele paralimbice acționează ca tampon sinaptic între realitatea externă și cerințele sau solicitările mediului intern dirijate de hipotalamus și de sistemul limbic în generea (fig. 79).

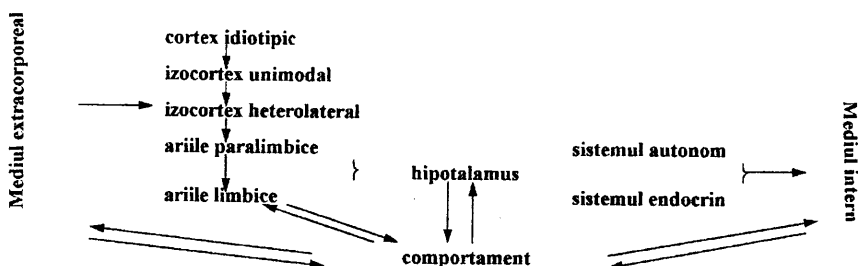


Fig 79. Formațiunile anatomice care intervin în expresia fiziologică a comportamentului

Ele înzestrează individul cu soluții alternative de răspuns la enorma diversitate a stimulilor, în baza contextului în care aceștia apar.

În afara răspunsurilor programate, comportamentul poate fi modificat și de variate stări interne, de lumea externă și de experiența anterioară. În aceste arii ia naștere prima soluție comportamentală pe bază genetică și neurală, iar diferența dintre psihic și corp se estompează atât de mult, încât devine aproape lipsită de expresie. Totuși, în reglarea problemei interacțiunii psihic corp intervine adesea terenul filozofic, cognitiv, cel al neuroștiinței și cel al biologiei moleculare.

## Concluzii

Fiziologia extrem de complexă a sistemului limbic se află la primii săi pași. Totuși, prin faptul că acest complex limbic are conexiuni cu toate ariile inervate de sistemele extero și interoceptive, el poate sintetiza informațiile respective și poate acționa ca sistem tampon între structurile somatice și viscerele cu rol important în reglarea afectului, motivației, homeostaziei, autoconservării, procreerii și în modularea comportamentului.

În prezent, există un acord general asupra poziției centrale a sistemului limbic în mecanismul care generează comportamentele și emoțiile, specifice stărilor motivaționale. Conform unei motivații, impulsurile generate de sistemul senzitivo-senzorial, de cortexul cerebral de sistemul endocrin și autonom, componente ale sistemului limbic, pun în acțiune mecanismele care la rândul lor excită sistemele



somatic și visceral, a căror activitatea reunită determină expresia fiziologică a comportamentului și a emoției.

Eferențele sale ajung în ariile cele mai specializate ale cortexului cerebral, în ariile instinctuale ale sistemului nervos, în trunchiul cerebral, în măduva spinării și la nivelul sistemului nervos autonom.

Totuși, noțiunea conform căreia sistemul limbic reprezintă o structură reglatoare importantă a rețelei neuroendocrine și imune, implicate în conștiință și în interfața dintre psihic și corp, nu a fost studiată și apreciată în mod adecvat.

## SISTEMUL NERVOS VEGETATIV - DATE GENERALE

Sistemul nervos somatic controlează și reglează conștient și voluntar relațiile organismului cu mediul extern, precum și adaptarea acestuia la modificările continue ale spațiului extracorporal. Prin urmare, sistemul nervos somatic este o structură ecotropă sau de relații externe.

Sistemul nervos vegetativ sau autonom denumit astfel impropriu deoarece organele sau țesuturile pe care le inervează posedă un anumit autotumatism, care permite continuarea activității lor și în condiții bazale, fără comandă nervoasă, are rolul de a asigura funcționarea reflexă și involuntară a organelor interne (cord, pulmon, tub digestiv, aparat excretor, glande cu secreție internă și externă etc).

Structurile viscerele inervate de sistemul nervos autonom mențin în organism un mediu constant : homeostezia,

Sistemul nervos vegetativ sau autonom are două componente cu funcții diferite: funcția simpatică și cea parasimpatică.

Activitatea parasimpatică are un caracter anabolic, cu rol în acumularea și conservarea energiei organismului. Ea este adaptată pentru acțiuni selective și localizate și nu pentru reacții generalizate. Neuronii parasimpatici contractă pupila, răresc bătăile cordului, accentuează mișcările peristaltice și relaxează sfincterele vezical și rectal.

Contracția pupilei ferește retina de acțiunea unei lumini excesive; rărirea contracțiilor cardiace oferă mușchiului cardiac perioade mai lungi de odihnă și fortificarea; accentuarea secreției salivare, gastrice și a peristaltismului creează condiții fundamentale pentru digestie, absorbție și pentru depozitarea materialului energetic. Activitatea simpatică are rol catabolic, de eliberare și consumare a energiei și de punere a organismului în stare de apărare față de schimbările produse în mediul extern, pregătind astfel individul pentru reacțiile de fugă și luptă.

Neuronii simpatici dilată pupila, accelerează contracțiile cardiace și inhibă peristaltismul și contracția sfincterelor vezical și rectal.

Rezultă, deci, că stimularea componentei simpatice duce la mobilizarea rezervelor organismului, echipându-l pentru acțiuni musculare intense cerute de

ofensivă, apărare și crize emoționale. Cele două sisteme acționează reciproc și sunt integrate în coordonarea răspunsurilor necesare asigurării menținerii mediului intern necesar pentru a face față oricărei situații.

Activitățile parasimpatice sunt inițiate în mod primar de modificările interne ale viscerelor, în timp ce sistemul simpatic este activat în cea mai mare parte de impulsurile exteroceptive ce trec prin fibrele somatice aferente.

Cele două componente ale sistemului nervos, net individualizate la nivel periferic și medular și din ce în ce mai puțin precis și mai puțin strâns în etajele supramedulare, realizează împreună adaptarea continuă și adecvată a organismului uman la condițiile în permanentă schimbare a mediului natural și social.

Gaskell (1916) a demonstrat că atunci când o structură viscerală are o inervație dublă, (simpatică și parasimpatică) efectele celor două sisteme sunt antagoniste.

Hipotalamusul reprezintă locul principal de integrare autonomă centrală. Cele mai voluminoase conexiuni aferente ale hipotalamisului își au originea în formațiunea hipocampică, în complexul nuclear amigdaloid și în cortexul olfactiv.

Conexiuniunile indirecte provin din regiunile corticale care aparțin sistemului limbic. Multe din aceste structuri formează circuite care încep în regiunea septală și se extind prin regiunea preoptică și hipotalamus în mezencefalul rostral. Structurile mezencefalice primesc inputuri hipotalamice pe calea componentei descendente a fasciculului telencefalic medial, pe calea tractului mamilo-tegmental și prin intermediul proiecțiilor descendente din substanța cenușie periventriculară. De la mezencefal, inputurile hipotalamice sunt transmise caudal prin numeroase relele sinaptice, care aparțin formațiuni reticulate a trunchiului cerebral (Nauta, 1972).

Prin sistemul de fibre descendente, hipotalamusul și alte structuri suprasegmentare contribuie la reglarea multor activități reflexe viscerale, ca de exemplu presiunea sanguină, temperatura corpului, transpirația, secreția, reflexele oculare, vezicale, rectale și sexuale.

## NUCLEII BAZALI

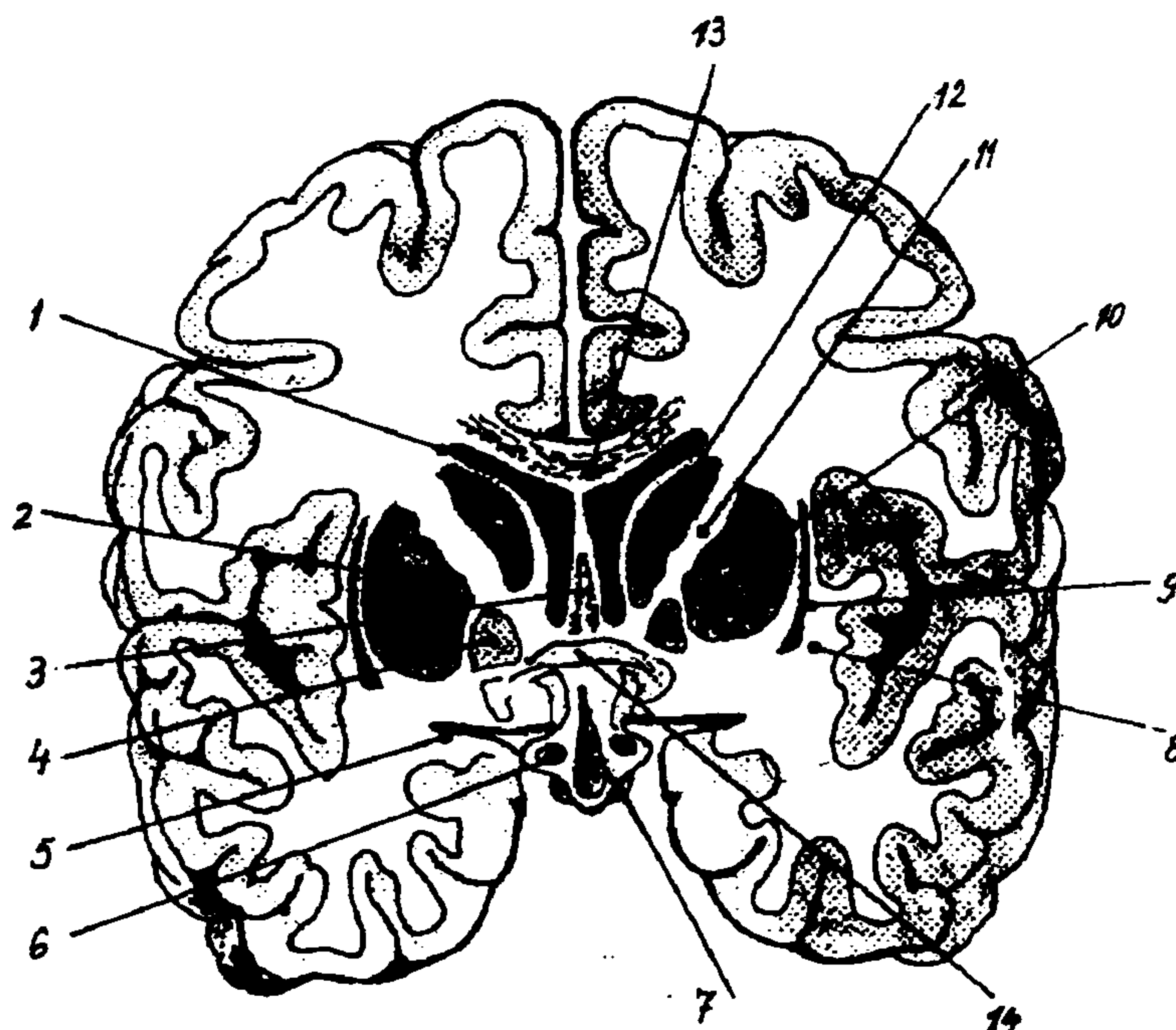
Așa cum am arătat, în cadrul hemisferelor cerebrale substanța cenușie nu este dispusă numai la exterior, în scoarța cerebrală, ci și în interior, formând un grup de nuclei cunoscuți sub numele de nucleii bazali.

Structurile incluse în aceștia variază, dar cele mai comune sunt: complexul amigdaloid, claustrumul și corpul striat format din nucleul caudat și nucleul lentiform (fig.80). Côté și Crutcher, (1991) includ în grupa ganglionilor bazali cinci nuclei subcorticali: nucleul caudat, putamenul, globus pallidus, nucleul subthalamic și substanța neagră. Aceste mase nucleare heterogene ca structură, funcție și istorie filogenetică au dus la crearea unei terminologii confuze și la regruparea lor în diverse moduri.



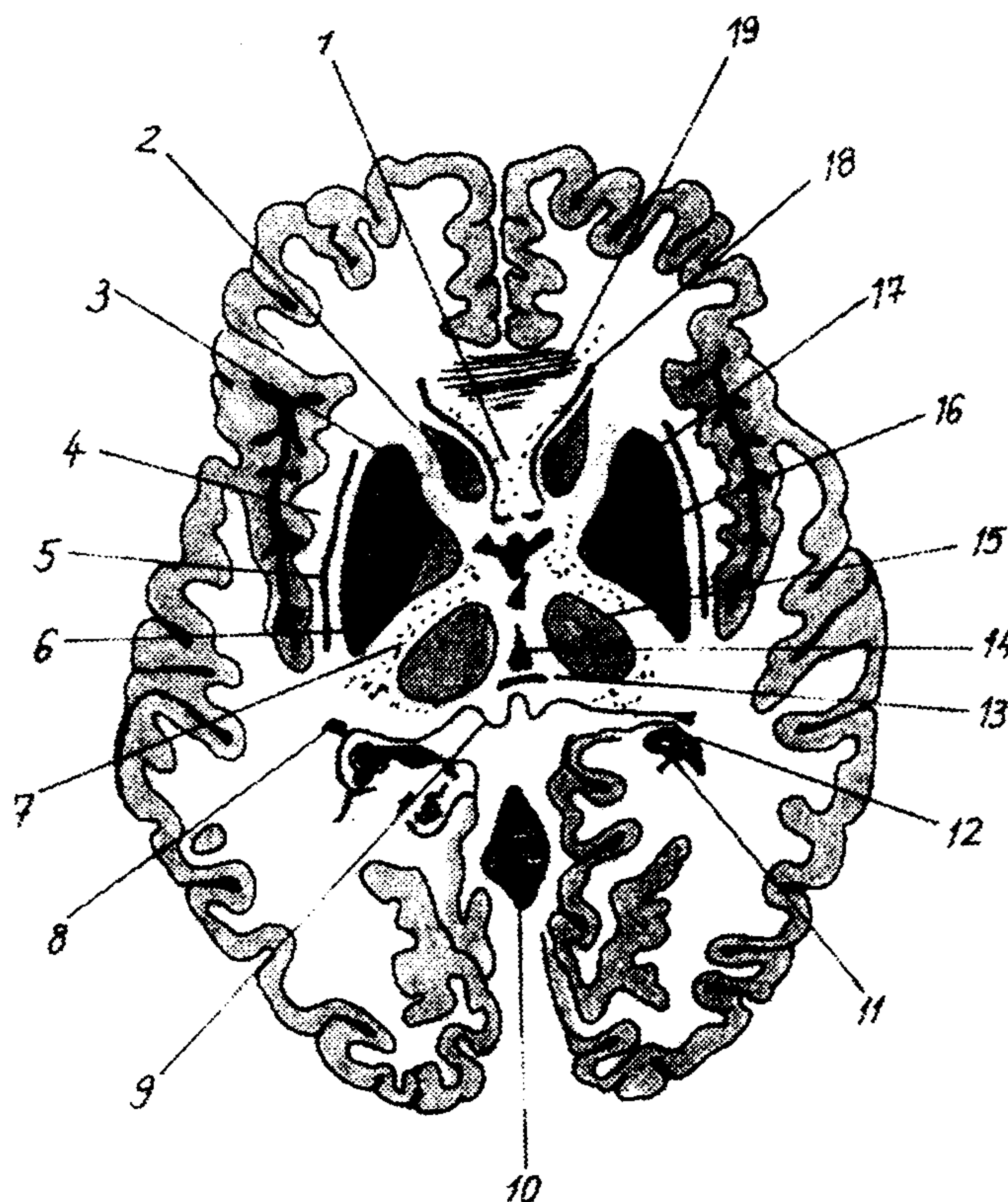
**Fig. 80 a.** Secțiune frontală prin coloana fornixului și comisura anterioară cu evidențierea gangliilor bazali.

1. Cornul anterior al ventriculului lateral; 2. Putamen; 3. Coloanele fornixului; 4. Globus pallidus; 5. Substanța perforată anterioară; 6. Tractul optic; 7. Recesul infundibular al ventriculului trei; 8. Capsula extremă; 9. Claustrum; 10. Capsula externă; 11. Capsula internă; 12. Capul nucleului caudat; 13. Corpul calos; 14. Comisura anterioară.



**Fig. 80 b.** Secțiune orizontală prin hemisferele cerebrale cu evidențierea ganglionilor bazali

1. Coloanele fornixului; 2. Capsula internă; 3. Putamen; 4. Capsula extremă; 5. Claustrum; 6. Capsula externă; 7. Capsula internă (brațul posterior); 8. Coda nucleului caudat; 9. Coliculi superiori; 10. Vermisul cerebelos; 11. Formațiunea hipocampică; 12. Pulvinarul; 13. Comisura posterioară; 14. Ventriculul trei; 15. Talamusul; 16. Globus pallidus; 17. Putamen; 18. Cornul anterior al ventriculului lateral; 19. Corpul calos.



### Corpul amigdaloid

(complexul nuclear amigdaloid, amigdala, arhistriatum)

Această formațiune anatomică este constituită dintr-o masă cenușie situată în porțiunea dorso-medială a lobului temporal anterior. El formează pereții ventral, superior și medial ai vârfului cornului inferior al ventriculului lateral, iar caudal se continuă cu uncusul girusului parahipocampic. Relațiile sale sunt complicate .

Astfel, deasupra se continuă în parte cu marginea inferomedială a claustrumului iar fibrele capsulei externe și substanța cenușie a substriatului îl separă de putamen și globus pallidus. Fibrele tractului optic se află în apropierea lui. Parțial se afundă în girusul semilunaris, în girusul ambiens și în girusul uncinatus. Zonele tranziționale îl conectează cu substanța perforată anterioară, cu coretul piriform și cu girusul parahipocampic.

Caudal se află lângă partea ventrală a hipocampusului unde fuzionează cu apexul cozii nucleului caudat. Stria terminalis iese din aspectul său caudal.

Complexul amigdaloid se divide în două mase nucleare: grupul nuclear corticomedial și grupul nuclear bazolateral. Mai există și un nucleu central care, după unii, reprezintă o subdiviziune separată, în timp ce după alții ar fi inclus în grupul nuclear corticomedial.

La om, grupul nuclear corticomedial constituie partea dorsală sau dorsomedială a complexului datorită rotației lobului temporal.

Subdiviziunea nucleară a grupului corticomedial include: 1) aria amigdaloidă anterioară; 2) nucleul tractului olfactiv lateral; 3) nucleul amigdaloid medial; 4) nucleul amigdaloid cortical. Nucleul tractului olfactiv lateral este cel mai puțin dezvoltat la om. Aria amigdaloidă anterioară, care reprezintă partea cea mai rostrală a complexului amigdaloid, este slab diferențiată. Grupul nuclear amigdaloid este cel mai apropiat de putamen și coada nucleului caudat. Complexul corticomedial se continuă prin zonele tranziționale cu substanța perforată anterioară, banda diagonală a lui Broca, substanța nenumită, putamenul, nucleul caudat, ariile corticale din jurul uncusului și girusul parahipocampic.

Partea cea mai mare și mai diferențiată a complexului amigdaloid la om o constituie grupul nuclear bazolateral, care se subdivide în: 1) nucleul amigdaloid lateral; 2) nucleul amigdaloid bazal; 3) nucleul amigdaloid bazal accesoriu.

Nucleul amigdaloid central conține terminații nervoase cu mare concentrație de dopamină și apare strâns legat de neostriat, de claustrum și cortexul girusului parahipocampic. Conexiunile complexului amigdaloid sunt incomplet stabilite la om.

**Conexiuni aferente** Dintre conexiunile aferente ale complexului amigdaloid, fibrele olfactive sunt cel mai bine cunoscute. Acestea își au originea în lobul olfactiv, trec prin tractul olfactiv lateral și se termină în grupul nuclear corticomedial. Nucleul amigdaloid bazolateral nu primește fibre din tractul olfactiv lateral, dar primește o aferență olfactivă indirectă pe calea releului din cortexul piriform. Astfel, aproape toate părțile complexului nuclear amigdaloid primesc fie direct, fie indirect impulsuri olfactive. Pare să facă excepție numai grupul nuclear central. Experimental, s-a dovedit că la amigdală sosesc importante fluxuri de semnale diencefalice, paralele cu sistemul aferent, din jumătatea rostrală a hipotalamusului pe calea striei terminale și de la restul ganglionilor bazali prin căile ventrale. Aceste inputuri diencefalice converg spre toți nucleii care primesc și aferențe olfactive directe sau indirecte. În cadrul experiențelor pe pisică și maimuță s-a constatat prezența și a aferențelor neocorticale, care vin din girusul temporal inferior și se duc



la nucleii bazolateral și central. Au mai fost descrise aferențe și de la cortexul orbito-frontal și de la ariile parietală, occipitală și temporală, care se duc la nucleul amigdaloid lateral pe calea brațului posterior al comisurii anterioare. Alte aferențe converg de la nucleii talamici specifici și nespecfici, de la formațiunea reticulată a trunchiului cerebral și de la cortexul piriform.

Se poate constata că aferențele neolfactive sunt slabe.

**Conexiunile eferente.** Stria terminalis sau semicircularic este cea mai importantă cale eferentă a complexului nuclear amigdaloid. Cea mai mare parte a fibrelor acesteia își au originea în zona corticomedială a complexului amigdaloid. Fibrele din stria terminalis se arcuiesc de-a lungul întregii margini mediale a nucleului caudat lângă joncțiunea sa cu talamusul. Rostral, aceste fibre se termină în nucleul striei terminale localizat lateral de coloanele fornixului și dorsal de comisura anterioară. O parte din aceste fibre care aparțin zonei postcomisurale din stria terminalis se termină în nucleul hipocampic anterior, iar unele fibre se alătură fasciculului prozencefalic medial. Fibrele părții precomisurale din stria terminalis se termină în aria preoptică medială care se continuă caudal, pentru a se termina într-o zonă săracă în celule care înconjoară nucleul hipotalamic ventro-medial (Hall, 1965).

Eferențele amigdalo-fugale ventrale iau naștere din nucleul amigdaloid bazolateral și cortexul piriform, ies din partea dorso-medială a amigdalei și se răspândesc medial și rostral sub nucleul lentiform (Gloor, 1960).

Fibrele trec prin substanța nenumită și intră în ariile preoptică laterală și hipotalamică, în regiunea septală și în nucleul benzii diagonale.

Fibrele amigdalo-fugale trec peste regiunea preoptică și hipotalamus, intră în pedunculul hipocampic inferior și se proiectează către partea magnocelulară a nucleului dorso-medial al talamusului (Nauta și Mehler, 1969). Aceste fibre se alătură proiecțiilor care iau naștere din neocortexul temporal. După Nauta și Mehler (1969) există conexiuni reciproce între amigdală, nucleul dorso-medial al talamusului și regiunile neocorticale orbitofrontală, cingulată și temporală. Fibrele interamigdaloide trec prin comisura anterioară.

**Considerații funcționale.** Deși complexul amigdaloid primește un input olfactiv, importanța acestuia pentru sensibilitatea olfactivă este incertă, deoarece distrucția lui bilaterală nu afectează discriminarea olfactivă. Stimularea sau ablația complexului nuclear amigdaloid la animale produce o largă varietate de modificări comportamentale, viscerele, somatice și endocrine. Cea mai evidentă modificare comportamentală dată de stimularea amigdaloidă a unui animal neanesteziat este „oprirea” din orice activitate ca și cum animalul ar avea o atitudine de atenție trează. Reacția de „oprire” apare ca o fază inițială a fugii și a reacției de apărare. Reacția de fugă (teamă) și reacția de apărare (furie și agresiune), comportamente agoniste, au sediul în regiuni diferite ale complexului amigdaloid (Ursin și Kaada, 1960). Reacțiile de teamă și furie pot fi intense și asociate cu midriază, piloerecție, mârâit și semne coraspușătoare intersectării emoționale relevate prin răspunsuri

din partea sistemului nervos autonom. Stimularea electrică a striei terminale sau a fibrelor amigdalo-fugale ventrale produc comportamentele reacției de apărare. După întreruperea fibrelor amigdalo-fugale ventrale, nu se mai obține reacția de apărare prin stimularea complexului amigdaloid (Zbrozyna, 1972), fapt care demonstrează rolul important al părții bazolaterale a complexului în producerea acestei reacții.

La om, stimularea regiunii amigdale produce teamă, stare confuză, tulburări de conștiință și amnezie pentru faptele care au loc în timpul stimulării (Gloor, 1960). Furia care se instalează după stimulările amigdale la animale apare rar asociată cu crizele temporale sau după stimularea profundă a lobului temporal la om (Mark, 1974).

Răspunsurile viscerale obținute prin stimularea amigdaloidă cuprind modificări ale ritmului și amplitudini respirației, inhibiția acesteia sau, mai frecvent, accelerarea și reducerea amplitudinii (Kaada, 1960).

La om, ca și la animale, inhibiția respirației se obține din partea ventrală a amigdalei.

Ridicarea presiunii sanguine apare după stimularea animalelor neanesteziate, dar pot să apară și modificări de puls, precum și scăderea presiunii sanguine. De asemenea, pot fi induse micțiunea și defecația, iar secreția și motilitatea gastro-intestinală pot fi activate sau inhibitate. S-a mai constatat și prezența piloerecției, salivației, creșterea acidității gastrice, modificări pupilare și ale temperaturii corpului.

Aceste răspunsuri sunt atât de natură simpatică, cât și parasimpatică (Carpenter, 1979). Răspunsurile somatice obținute prin stimularea complexului amigdaloid includ întoarcerea capului și a ochilor către partea opusă, contracții faciale clonice ipsilateral și mișcări ritmice de mestecare, adulmecare și înghițire. Răspunsurile somatice și viscerale constituie o parte nesemnificativă a sindromului produs de lezarea acestui complex. Răspunsul endocrin la stimularea complexului nuclear amigdaloid include eliberarea de hormon gonadotrofic și ACTH, precum și un răspuns lactogenic. Era de așteptat că stimularea acestei arii care induce trezirea și răspunsuri emoționale să producă și creșterea funcției adrenocorticale.

Lezarea bilaterală a nucleului amigdaloid medial produce o creștere a nivelului seric de ACTH, probabil datorită anihilării unei influențe inhibitorii asupra acestei secreții (Eleftheriou și colab., 1972).

O leziune întinsă a amigdalei sau a sistemului său de proiecții hipotalamice poate atenua, dar nu și aboli, răspunsul corticosteroid (Zolovick, 1972). Stimularea părții corticomediale a amigdalei induce ovulația, răspuns care este abolit de transecțiunea striei terminalis (Velasco și Taleismik, 1969). Legătura sa cu hormonii foliculostimulant și luteinizant este contradictorie. Cert este că amigdala participă împreună cu hipotalamusul la controlul și reglarea secreției hipofizare.

Leziunile bilaterale, bine delimitate, ale complexului amigdaloid, la animale, produc comportament placid, fără nici o reacție de teamă, furie sau agresivitate față de molestările altui animal. Pe de altă parte, în astfel de situații Schreoner și



colab. (1954) au pus în evidență o hipersexualitate. După unele date, acest comportament apare numai când se lezează concomitent și cortexul piriform.

Hipersexualitatea din cadrul sindromului Klüver-Bucy este caracterizată prin nediscriminarea partenerilor.

Bard și colab. (1937) au obținut la pisică o creștere a agresivității prin extirparea amigdalei. Se consideră că epilepsia apărută postoperator joacă un rol important în comportamentul sălbatic și în apariția furiei.

La om lezarea bilaterală a complexului amigdaloid duce la descreșterea comportamentului agresiv și de atac (Green, 1951). Unii autori sugerează că lezarea stereotaxică a complexului amigdaloid la om produce o marcată reducere a excitabilității emoționale și tinde să normalizeze comportamentul social și adaptarea indivizilor cu severe tulburări comportamentale. Uneori, o leziune unilaterală este suficientă. Leziunile bilaterale mai strânse nu au produs semne sau simptome proprii sindromului Klüver-Bucy. În schimb, extirparea bilaterală a unor părți mai mari din lobul temporal provoacă acest sindrom. Efectul amigdalotomiei asupra comportamentului agresiv poate fi explicat prin eliminarea unui focar iritativ din seria structurilor cerebrale implicate în acest comportament (Dănăilă și Golu, 1988). Pe de altă parte, un rol important în geneza comportamentului agresiv și violent îl are și deficiența unui mecanism inhibitor general.

Privitor la aportul de hrană și apă s-a constatat că amigdalectomia bilaterală la pisică duce la hiperfagie și obezitate. Se crede că hiperfagia nu este dată de o creștere a foamei, ci de un deficit de sațietate. Stimularea nucleului bazolateral al amigdalei inhibă recțiile alimentare și alimentația la pisică, pe când lezarea acestuia duce la hiperfagie (Fonberg, 1968).

Lezarea sistemului de fibre amigdalo-hipotalamice abolește efectul stimulatv amigdalar bazolateral pentru aportul de hrană. S-a constatat că această parte a complexului amigdaloid inhibă aria hipotalamică laterală considerată ca centru alimentar hipotalamic (Oomura și colab., 1967). Partea corticomedială a complexului amigdaloid este o arie facilitatorie pentru hrănire. Ca și stimularea striei terminalis, stimularea acestei regiuni produce creșterea aportului alimentar (Robinson, 1971).

În general, lezarea amigdalei duce la efecte mai puțin severe decât cele realizate prin lezarea hipotalamusului, asupra căruia își exercită o influență modulatorie.

Efectul de trezire neocorticală similar celui indus de stimularea reticulată a trunchiului cerebral este cel mai caracteristic răspuns obținut prin stimularea amigdalei. Complexul amigdaloid are un efect de restrângere asupra anumitor componente induse de stimularea electrică a hipotalamusului. Astfel, s-au implantat electrozi în aria hipotalamică a cărei stimulare produce atacul agresiv direct și în variate regiuni ale complexului amigdaloid. Stimularea zonei cu celule mari a nucleului bazal și a părților anterioară și medială ale complexului amigdaloid lateral suprimă comportamentul de atac indus de hipotalamus. Stimularea porțiunii

dorso-laterale a părții posterioare a nucleului lateral facilitează comportamentul de atac. Relatarea acestui efect este importantă, deoarece amigdalectomia are ca rezultat reducerea comportamentului agresiv la om. În contrast cu efectul amigdalectomiei este comportamentul agresiv care urmează după leziunile septale. După cum am văzut, conexiunile septale exercită un control inhibitor asupra inputurilor senzoriale și aspectelor majore ale relațiilor somato-motorii la stimulare. Există o acțiune reciprocă între complexul amigdaloid și funcția septală. Pentru atenuarea tendințelor și comportamentului agresiv, se recurge în unele cazuri la ablația complexului amigdaloid unilateral sau bilateral.

Epilepsiile de lob temporal cu tulburări comportamentale și manifestări agresive au constituit primele cazuri operate, după care programul s-a extins și la pacienții fără manifestări clinice de epilepsie de lob temporal, dar cu anomalii EEG și marcate tulburări comportamentale. După distrugerea ariilor amigdaloidă și preamigdaloidă, oamenii devin prea triști și abătuți pentru a mai manifesta un comportament agresiv, le crește labilitatea emoțională, interesul anormal pentru mâncare, hipersexualitatea și agitația. Peele (1977) afirmă că în cele 50 de cazuri operate s-a înregistrat o reducere a labilității emoționale și normalizarea comportamentului social al pacienților. Nu s-a constatat apariția sindromului Klüver-Bucy sau a tulburărilor de memorie, chiar după distrugerea bilaterală a complexului amigdaloid. Manifestările clinice epileptice s-au ameliorat, iar ameliorarea EEG a fost observată în multe cazuri. Nu se știe încă dacă există o discretă reprezentare topografică în complexul amigdaloid a acestor variate răspunsuri.

În general efectele autonome sunt induse mai ușor în grupul nuclear antero-medial, iar cele comportamentale în grupurile nucleare bazal și lateral.

## Clastrum

Clastrum este format dintr-o pătură de substanță cenușie aflată între insulă și putamen. Între nucleul lenticular și clastrum se află capsula externă, iar între clastrum și insulă se găsește capsula extremă.

Grosimea cea mai mare o are dedesupt și anterior, unde se continuă cu substanța perforată anterioară, amigdala și cortexul prepiriform. Unii consideră că el aparține de corpul striat, în timp ce alții afirmă că reprezintă o parte detașată din cortexul insular. Studiile detaliate sugerează că el are cel puțin două zone distincte din punct de vedere structural și funcțional, clastrumul insular și clastrumul temporal sau prepiriform. Experimental, pe animale s-a arătat că partea insulară are conexiuni reciproce corticoclastrale și clastrocorticele cu multe regiuni neocorticele. La om nu sunt cunoscute nici conexiunile și nici semnificațiile sale funcționale.

Capsula externă este reprezentată de un strat subțire de substanță albă interpusă între nucleul lentiform și clastrum. Fibrele acesteia, ce derivă din operculul frontoparietal al insulei, se duc lateral către nucleul lentiform, după care



se îndreaptă medial pe sub el și ansa lenticularis. Conexiunile sale subțalmice sunt incerte. Se crede că unele fibre ale comisurii anterioare traversează capsula externă.

### Nucleul caudat

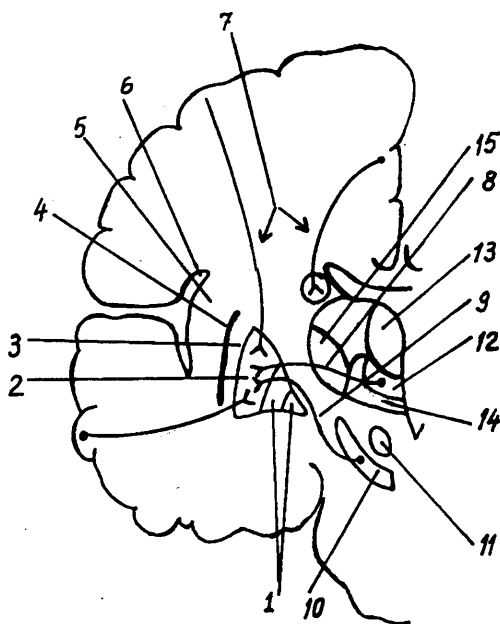
Această formațiune constituită dintr-o masă arcuată este situată în planșeul cornului anterior și al părții centrale a ventriculului lateral și în plafonul cornului inferior. Are forma unei virgule alcătuită din trei segmente: cap, corp și coadă care se termină în nucleul amigdalian din lobul temporal. Capul masiv al acestuia este situat anterosuperior în apropierea foramenului intraventricular.

Întreaga porțiune ventriculară este acoperită de splenium, dar porțiunea ventriculară centrală și cornul inferior sunt însoțite pe marginea medială de stria terminalis. În partea ventriculară centrală stria este acompaniată de vena talamostriată, care se înfundă în șanțul dintre nucleul caudat și talamus. Anterior și central marginea laterală a nucleului caudat se află în legătură cu corpul calos. Fasciculul arcuat fronto-occipital și fasciculul subcalos îl separă de acesta. Suprafața sa laterală aplatizată vine în contact cu capsula internă. Anterior, imediat deasupra substanței perforate anterioare, capul nucleului caudat fuzionează cu putamenul. Între putamen și capul nucleului caudat, fâșia de substanță cenușie care le unește traversează brațul anterior al capsulei interne. Aceasta realizează un aspect vărgat, care a dat naștere termenului de striat. Partea spleniformă a capsulei interne și fibrele provenite din capsula externă separă coada nucleului caudat de globus pallidus.

### Nucleul lentiform

Nucleul lentiform are aspectul unei lentile biconvexe a cărei suprafață medială are o curbatură mai pronunțată. Pe secțiune putem distinge două părți care diferă după culoare: partea laterală mai mare și mai închisă poartă numele de putamen și partea medială mai mică și mai deschisă poartă numele de globus pallidus (Fig 81).

Acest nucleu aflat în interiorul hemisferei este acoperit lateral de o pătură de substanță albă, capsula externă, lateral de care se află claustrul. Medial de nucleul lentiform se află capsula internă care îl separă de talamus (situat posterior) și de nucleul caudat (situat anterior). Anterior, superior și posterior nucleul lentiform este înconjurat de coroana radială. Partea sa inferioară este inclavată în comisura anterioară care trece posterolateral în lobii temporali, iar anterior acesteia putamenul se continuă cu capul nucleului caudat. Anterior se află o zonă de fuziune neregulată formată din substanța cenușie a corpului striat și din substanța perforată anterioară.



**Fig. 81.** Reprezentare schematică a ganglionilor bazali și a unor conexiuni.  
 1. Globus pallidus; 2. Putamen; 3. Capsula externă; 4. Claustrum; 5. Capsula extremă; 6. Insula; 7. Fibre corticostriate; 8. Fibre talamostriate; 9. Fibre nigrostriate; 10. Substanța neagră; 11. Nucleul roșu; 12. Nucleul talamic centromedian-parafascicular; 13. Nucleul dorso-medial; 14. Nucleul ventral posteromedial; 15. Nucleul ventral posterolateral.

Nucleul lentiform aflat deasupra cornului inferior al ventriculului lateral este separat de acesta prin fibrele capsulei externe, care trec medial de regiunea subtalamică și de partea sublentiformă a capsulei interne, de coada nucleului caudat și de stria terminalis. Anterior este separat de corpul amigdaloid prin ansa peduncularis.

**Conexiunile corpului striat.** Neostriatul (putamenul și nucleul caudat) este principala stație receptoare a striatului, care se proiectează către globus pallidus. Ultimul dă cele mai importante proiecții eferente, dar unele din acestea ies direct și din neostriat. Deosebită importanță funcțională a acestor conexiuni constă în faptul că ele stabilesc legături între formațiunile extrapiramidale subcorticele și cortex, ca și între aceste formațiuni și cele subcorticele. Conexiunile aferente striate iau naștere în principal în cortexul cerebral, în nucleii talamici intralaminari și substanța neagră. Fibrele corticostriate sosesc aproape din toate regiunile cortexului (de la ariile frontale 4, 6, 8; parietale 1, 2, 5, 7). Deci jumătatea anterioară a hemisferei are relații mult mai numeroase cu striatul. Cea mai mare parte din cortex se conectează atât cu nucleul caudat, cât și cu putamenul, dar cortexul din lungul marginii dorso-mediale a hemisferei trimite proiecții exclusiv către partea dorsală a nucleului caudat.

S-a constatat că proiecțiile corticale senzitivo-motorii se duc bilateral la nucleul caudat și putamen. Fibrele care se proiectează bilateral încrucișează linia medială în corpul calos și intră în nucleul caudat prin fasciculul subcalos, iar în putamen pe calea capsulei externe.



Mai puține fibre corticostriate bilaterale pornesc din aria motorie suplimentară și din aria 5. La maimuță, nici o fibră corticostriată din aria 4 sau din cortexul somato-senzitiv nu se proiectează contralateral.

Fibrele talamostriate constituie unul din cele mai întinse și mai importante grupuri de fibre care se duc către nucleul caudat și putamen.

Cele mai multe din aceste fibre cu originea în complexul nuclear centro-medial parafascicular traversează capsula internă și intră în putamen. Nucleul centro-medial trimite proiecții numai în putamen.

Nucleul parafascicular, ca și precedentul, are o proiecție topografică în putamen.

Fibrele aferente caudatului cu origine în micii nucleii talamici intralaminari (medial, caudal, paracentral și central lateral) se găsesc în partea rostrală și cea dorsală. Studiile bazate pe principiul transportului axonal retrograd arată că fibrele talamostriate colaterale se proiectează difuz pe întinse regiuni ale cortexului cerebral. Fibrele nigrostriate se compun din axonii celulelor din pars compacta a substanței negre care ajung la striat. După leziuni ale substanței negre sau ale capsulei interne, fluorescența histochimică și conținutul de dopamină al striatului sunt marcat reduse. S-a afirmat, de asemenea, că terminațiile dopaminergice din substanța neagră ajung la nivelul interneuronilor striati.

Datele de care dispunem arată că partea caudală a substanței negre proiectează în principal către putamen și că există o corespondență între partea laterală a substanței negre și regiunea dorsală a putamenului și între partea medială a substanței negre și regiunea ventrală a putamenului.

Regiunea rostrală a substanței negre trimite proiecții la nivelul capului nucleului caudat. Fibrele nigrostriate traversează capsula internă și porțiuni din globus pallidus în drumul lor către putamen. Unele din aceste fibre se termină în globus pallidus.

Deși fibrele amigdalostriate sunt numeroase (Kelly și colab., 1982), diviziunea acestui mozaic al neostriatului în limbic/non-limbic a fost contestată (Gerfen, 1984). Totuși, Nieuwenhuys (1986) a precizat că partea limbică a neostriatului conține cel puțin 17 varietăți de neurotransmițători incluși în miezul paracrin al nevraxului.

Fibrele eferente striate se duc la globus pallidus, dar au fost descrise și fibre striatonigrale și striatotalamice. Nucleul caudat și putamenul se proiectează într-o manieră topică în neuronii din globus pallidus. Putamenul lateral se proiectează numai în segmentul palidal extern, partea cea mai medială și nucleul caudat proiectându-se în ambele segmente palidale sau numai în porțiunea sa internă. S-au descris proiecții către nucleul subtalamic și nucleul olivar inferior, dar acestea sunt incerte. Fibrele striatopalidale de la nucleul caudat trec ventral prin capsula internă. Fibrele striatonigrale sunt organizate topografic și se termină la nivelul celulelor din pars reticulata. Fibrele din capul nucleului caudat se proiectează în partea rostrală a substanței negre. Fibrele putaminonigrale converg către partea cea mai caudală a substanței negre. Partea dorsală a putamenului se proiectează pe partea laterală

a substanței negre, iar partea ventrală este în relație cu partea medială a substanței negre. Deci, fibrele striatonigrale și nigro-striate sunt reciproce. Împreună acest sistem formează un inel feedback legat de transportul dopaminei către terminalele striatului (Carpenter, 1979).

**Aferențele palidale** vin în principal de la celulele nucleului caudat și putamen. Acestea constituie fibrele striatopalidale și se distribuie la ambele segmente ale lui globus pallidus într-o manieră organizată. Fibrele subtalampopalidale intră în segmentul medial din globus pallidus, de unde se duc la marginea lui inferioară.

În cazul leziunilor palidale, fibrele nigropalidale (și palido-nigrale) determină o reducere semnificativă a activității glutamic-acid-decarboxilazei din substanța neagră. Problema fibrelor corticofugale, care se termină în globus pallidus, nu este rezolvată.

Fibrele talampopalidale sosesc de la nucleii talamici intralaminari, centromediali și dorsomediali.

Sistemul fibrelor palidofugale reprezintă eferența principală a corpului striat. Impulsurile de la nucleii care se proiectează pe globus pallidus sunt în cele din urmă trimise de acesta printr-un sistem de fibre palidofugal intricat. Eferențele palidale se împart în 5 fascicule: 1) ansa lenticulară; 2) fasciculul lenticular; 3) fibrele palido-tegmentale; 4) fibrele palido-subtalampice; 5) fasciculul subtalamic. Primele trei iau naștere exclusiv din segmentul palidal medial. Fibrele palido-subtalampice iau naștere predominant dar nu exclusiv în segmentul palidal lateral.

Ansa laterală este situată rostral, fasciculul lenticular este intermediar, iar fibrele palido-subtalampice caudal. Fibrele ansei lenticulare intră în câmpul hipotalamic al lui Forel.

Fasciculul lenticular traversează partea ventrală a capsulei interne, formează o mică buclă în zona incertă și se alătură fibrelor ansei reticulare în câmpul hipotalamic al lui Forel. Majoritatea fibrelor fasciculului lenticular ( $H_2$ ) și ale ansei reticulare se unesc în câmpul hipotalamic al lui Forel și intră în cele din urmă în fasciculul talamic (câmpul lui Forel  $H_1$ ) localizat dorsal în zona incertă.

Fibrele palidofugale din câmpul hipotalamic al lui Forel merg rostral și lateral de-a lungul suprafeței dorsale a zonei incerte, unde formează o parte din fasciculul talamic. Acest fascicul este complex, deoarece conține fibre palido-talampice și dento-talampice, care urcă prin regiunea prerubrală. Fasciculul trece dorso-lateral peste zona incertă pentru a intra în treimea ventrală rostrală a nucleilor talamici. În regiunea dorsală a zonei incerte, unde fibrele sale sunt separate de fasciculul lenticular, fasciculul talamic este denumit fasciculul  $H_1$  al lui Forel. Fibrele palidofugale merg la nucleul talamic ventral anterior și ventral lateral.

Unele fibre palidofugale separate de fasciculul talamic ajung la nucleul centro-medial al talamusului. În drumul lor, aceste fibre trec prin nucleul talamic ventral și postero-medial.

Fibrele cerebeloase dento-talampice se îndreaptă către nucleul talamic ventro-lateral și rostral către nucleii intralaminari. Fasciculul talamic conține fibre de la nucleul dințat contralateral și fibre de la segmentul palidal medial ipsilateral.



Fibrele de la nucleii cerebeloși profunzi se proiectează în principal pe nucleii talamici intralaminari rostrali, în timp ce globus pallidus se proiectează exclusiv pe nucleul centro-medial. În ceilalți nuclei proiecțiile din fasciculul talamic se suprapun. Este deci, posibil să existe unele grade de integrare a impulsurilor cerebeloase și palidale în nucleul ventro-lateral al talamusului, care, la rândul său, se proiectează pe cortexul motor (aria 4). Fibrele palido-tegmentale sunt descendente și derivă din segmentul medial al lui globus pallidus. Ele trec de-a lungul marginii ventro-laterale a nucleului roșu și se termină într-un mare număr de celule ale nucleului pedunculo-pontin. Un mic număr de fibre palidale eferente trec ventro-medial peste coloanele fornixului și se proiectează pe hipotalamus, la nivelul nucleului ventro-medial din regiunea tuberală.

Un mic număr de fibre palidofugale caudale se distribuie în celulele câmpului hipotalamic al lui Forel (sau câmpul prerubral). Nici o fibră palidofugală nu ajunge la nucleul roșu în zona incertă. Fasciculul subtalamic conține fibre palidofugale, care trec prin capsula internă și pătrund în nucleul subtalamic, precum și fibre de la nucleul subtalamic care proiectează înapoi către globus pallidus.

**Legăturile nucleilor bazali cu cortexul.** Legăturile nucleilor bazali cu cortexul au rolul de a realiza funcții comportamentale independente de mișcările voluntare. În afara circuitelor motorii ale ganglionilor bazali (calea de la ariile motorii la putamen, globus pallidus și substanța neagră și înapoi către ariile motorie suplimentară și premotorie) mai există cel puțin trei circuite ce conectează ganglionii bazali cu talamusul și cortexul (Alexander și colab., 1986).

1) *Circuitul oculomotor.* Câmpurile oculare frontale și multe alte arii corticale se proiectează în corpul nucleului caudat. La rândul său, caudatul trimite proiecții către coliculii superiori și în câmpul ocular frontal prin intermediul talamusului. Acest circuit este implicat în controlarea mișcărilor oculare sacadate.

2) *Circuitul prefrontal dorsolateral* Cortexul prefrontal dorsolateral și multe alte arii corticale asociative se proiectează la nivelul porțiunii dorsolaterale a capului nucleului caudat, care la rândul său trimite proiecții retrograde la cortexul prefrontal dorsolateral pe calea talamusului. Acest circuit este implicat probabil în aspectele memoriei legate de orientarea în spațiu.

3) *Circuitul orbitofrontal lateral* Acest circuit leagă cortexul orbitofrontal lateral cu caudatul ventromedial. Circuitul respectiv este implicat în abilitatea schimbării setului comportamental. În acest mod ganglionii bazali favorizează multe funcții care aparțin cortexului ecrebral.

### Substanța neagră.

Substanța neagră este masa nucleară cea mai voluminoasă a mezencefalului uman, care se extinde până în diencefalul caudal. Pe secțiune se disting două zone: o zonă dorsală compactă sau zona neagră și o zonă ventrală sau reticulată de

culoare roșie-cenușie ca globus pallidus. La om pigmentarea melanică este foarte intensă și apare numai în al patrulea sau al cincilea an de viață. Zona reticulată sau stratum intermedium este bogată în fier, dar nu conține pigment. Substanța neagră este implicată mai ales în tulburările metabolice, care stau la baza parkinsonismului, constituind principala sursă de dopamină striată.

S-a constatat că dopamina este înmagazinată în trei arii ale telencefalului: 1) striat (nucleul caudat și putamen); 2) nucleul acubens septi; 3) tuberculul olfactiv (Fuxe și Andén, 1966). Se crede că dopamina este sintetizată în celulele pigmentare mari din pars compacta, de unde este continuu transportată pe calea curentului axoplasmatic către varicozitățile terminale ale striatului.

Leziunile substanței negre duc la o evidentă reducere a dopaminei striatale ipsilaterale, iar lezarea striatului duce la o creștere a dopaniei în celulele mari din pars compacta care, în cele din urmă, descrește ca rezultat al cromatolizei. Aceste observații sunt semnificative, deoarece în creierul pacienților cu parkinsonism, dopamina este virtual absentă în striat și substanța neagră.

Fibrele aferente substanței negre iau naștere din nucleul caudat și putamen și sunt organizate topografic. Fibrele putameno-nigrule sunt organizate astfel încât partea lor dorsală se proiectează pe partea laterală a substanței negre, iar partea ventrală către regiunea ventrală a substanței negre.

Fibrele eferente ale substanței negre se duc către striat și nucleii talamici. Fibrele nigrostriate se proiectează rostral și dorso-lateral, peste nucleul subtalamic și trec prin capsula internă, ajungând la nucleul caudat și putamen. Ca și fibrele striatonigrule, ele sunt organizate topografic.

Fibrele din cele două treimi caudale ale substanței negre se duc la putamen, în timp ce partea rostrală este în relație cu nucleul caudat.

Datele arată că fibrele striatonigrule fac un feedback care transportă dopamina la variculozități terminale ale striatului.

Fibrele nigrotalamice iau naștere din pars reticulata a substanței negre și se proiectează pe nucleul ventral anterior și pe partea medială a nucleului ventral lateral. Substanța neagră este nucleul trunchiului cerebral, care are relațiile cele mai intime cu cea mai mare parte a ganglionilor bazali numiți neostriați.

La maimuță distrugerea până la 40% a nucleului nu produce alterări ale tonusului muscular, slăbirea mișcărilor asociative, tremur sau alte forme detectabile de dischinezii.

**Considerații funcționale.** La animale inferioare mamiferelor, fără cortex sau cu o dezvoltare minoră a acestuia, corpul striat constituie cel mai important centru prozencefalic. Cele mai multe activități instinctive (locomoția, apărarea, hrănirea și curțarea) depind de integritatea striatului. La aceste animale inferioare, mișcărilor sunt stereotipe și reflexe.

Diencefalul și corpul striat constituie cel mai înalt centru de integrare senzorio-motorie a prozencefalului. Talamusul reprezintă centrul respectiv, iar de corpul striat și de hipotalamus depind controlul visceral și cel motor. La mamifere, funcțiile corpului striat sunt subordonate cortexului cerebral.



Totuși, vechiul sistem motor continuă să fie utilizat pentru efectuarea mișcărilor autonome legate de fixarea posturii, de reacțiile de apărare și de hrănire. Însă multe mamifere sunt capabile de o activitate normală după distrucția ambelor tracturi piramidale. Chiar cimpanzeul, după o astfel de leziune, recuperează suficient pentru a se alimenta singur și pentru a executa mișcări de mers și de cățărare.

La om distrugerea tractului corticospinal afectează mai sever activitatea motorie, iar recuperarea se face în domeniul mișcărilor grosiere.

Striatul menține un fond postural pentru activitățile voluntare reîntărind mișcările și postura de origine corticală, dar este incapabil de a iniția astfel de mișcări.

Corpul striat și regiunile asociate dispun de interacțiuni extrem de complexe, dar înțelegerea funcțiilor acestora rămâne la nivel elementar.

Către corpul striat converg informații din majoritatea regiunilor cortexului cerebral, din talamus, din subthalamus și din unii centri ai trunchiului cerebral. Informațiile prelucrate diverg apoi către talamus, subthalamus și variați centri din trunchiul cerebral.

Principala eferență striată, ca parte a sistemului motor extrapiramidal, descinde prin căi polisinaptice către centrii motori inferiori.

Apoi, cum tracturile reticulospinal și rubrospinal duc o parte din informație de la corpul striat, este clar că eferența striatală majoră este cea a nucleului talamic ventral anterior de unde, după integrarea cu altele canale și căi radiate ascendente se duc la cortexul motor și premotor (aria 4 și 6). Astfel, contribuția corpului striat la funcția motorie trebuie să fie mediată de către neuronii corticali motori, care se proiectează medular pe calea tractului corticospinal. Tulburările funcției motorii date de interesarea patologică a corpului striat sunt contralaterale leziunii. Există de asemenea și mari conexiuni reciproce cu nucleul subthalamic și substanța neagră.

Multe maladii nervoase organice afectează în mod variabil diferite părți ale corpului striat, nucleii săi asociați și tracturile.

Aceasta prezintă în diferite forme și combinații următoarele elemente: 1) tulburări de tonus muscular (rezistență la întindere, rigiditate); 2) pierderea mișcărilor automate asociate (răsucirea brațelor, expresia facială etc); 3) mișcări involuntare necontrolabile care pot fi coreiforme, atetoide, balistice sau sub formă de tremur datorate contracțiilor alternative ale mușchilor opuși.

Tremurul este de obicei static (atunci când un membru este în repaus) sau intențional (în diferite forme de disfuncții cerebeloase).

Tendința de a lega variate combinații ale bolii de unele localizări specifice a avut succes limitat, iar datele experimentale au rămas lipsite de relevanță.

- Extirparea putamenului, nucleului caudat sau a globusului pallidus determină puține modificări motorii evidente, cu condiția ca leziunile respective să nu afecteze structurile adiacente.

Ablația completă bilaterală a globusului pallidus la maimuțe a dus la sărăcirea mișcărilor și la reducerea abilităților manipulative.

Stimularea rapidă a nucleului caudat la animalele neanesteziate a provocat mișcări ale capului și membrelor conform unei anumite somatotopii. Stimularea cu frecvență joasă sau chimică în diferite locuri ale sistemului striat al animalelor neanesteziate inhibă răspunsurile motorii, induce lungi perioade de imobilitate, inhibă cortexul generator de mișcare și provoacă reacția de oprire.

După stimularea nucleului caudat urmează și inhibiția răspunsurilor stabilite prin învățare.

Ablația chirurgicală a globusului pallidus sau a talamusului ventro-lateral a fost făcută adesea cu unele succese, pentru diminuarea rigidității și tremurului contralateral.

Ablația talamică s-a dovedit a fi mai eficace în înlăturarea tremurului, în timp ce leziunile palidale au avut efecte mai mari în reducerea rigidității. În afara valorii lor terapeutice, aceste manevre au procurat material pentru examinările și înregistrările electro-fiziologice.

Cel mai interesant lucru s-a dovedit a fi identificarea neuronilor din talamusul ventro-lateral al bolnavilor cu tremur parkinsonian, care descarcă impulsuri ritmice, a căror frecvență corespunde tremurului (Guiot și colab., 1964; Jasper, 1966; Bates, 1969). Fenomene similare au fost induse și prin plasarea unor leziuni în trunchiul cerebral la maimuțe.

Aferentele corticotalamice și nigrostriate exercită o acțiune excitatorie nonsinaptică marcată, dacă nu exclusivă, asupra celulelor din caudat și putamen. De asemenea, s-a constatat și o acțiune inhibitoare cu latență lungă, precum și una dublă excitatorie și inhibitoare.

În general, proiecțiile striato-palidale, striato-nigrale produc: o excitație monosinaptică, o inhibiție monosinaptică și o acțiune dublă -inhibitoare și excitatorie-, asupra celulelor din palid și substanța neagră. Proiecțiile palido- și nigrotalamice exercită: o excitație monosinaptică, o inhibiție cu latență scurtă și un efect dublu excitator și inhibitor, asupra neuronilor talamici, dar unele primesc inputuri convergente de la cerebel.

În prezent, se fac intense cercetări anatomice, fiziologice, comportamentale și farmacologice, cu scopul de a se descoperi mecanismul cauzal al descărcărilor neuronale ritmice. Demonstrarea existenței unor căi inhibitorii dopaminergice nigrostriate implicate în unele cazuri de tremur parkinsonian (Calne, 1970) a stârnit mult interes. Din variatele mecanisme propuse inițial s-a considerat că cel care se referă la funcția striatului depinde de balanța dintre aferențele inhibitorii deja menționate și aferențele excitatoare colinergice. Reducerea activității căilor inhibitorii duce la activarea outputurilor excitatoare din pallidum, provocând explozii excitatorii în activitatea neuronilor talamici ventro-mediali prin radiațiile lor corticale și la generarea descărcărilor ritmice în diferite tractusuri corticofugale, care ajung la centrii motori inferiori. Acest fapt implică admiterea dopaminei, ca neurotransmițător normal al striatului. Totuși, nivelul dopaminei din striat este redus în multe cazuri cu parkinsonism, iar tratamentul cu L-dopa, precursor al dopaminei, a dat rezultate clinice încurajatoare.



Datele de mai sus pot fi reținute numai din punct de vedere istoric. Acum se știe că arhitectura chimică a neostriatului este mult mai complexă.

Astfel, inputurile corticale către neostriat sunt excitatorii, mediate de neuronii glutamatergici. Prin ganglionii bazali există două căi majore. Calea directă reprezentată de proiecția strială către segmentul intern al globusului pallidus și pars reticulata substanței negre (nucleul output al ganglionilor bazali), care proiectează către talamus.

Calea indirectă este formată din circuitul ce pornește din nigrostriat și ajunge la segmentul extern al lui globus pallidus, care la rândul său se proiectează la nucleul subtalamic. La rândul său nucleul subtalamic dă proiecții retrograde segmentului pallidal și substanței negre.

Calea directă a neostriatului este mediată de GABA și substanța P.

Calea inhibitorie de la nucleul output la talamus este mediată GABA. Când celulele talamice sunt eliberate de inhibiția tonică apar mișcările. Acestea apar și când inputurile corticostriate excită neuronii striatali, fapt care duce la dezinhibiția fazică și la inhibarea celulelor inhibitorii din nucleul output al ganglionilor bazali. Activarea neuronilor talamocorticali facilitează mișcările prin excitarea ariilor premotorie și motorie suplimentară, care duce la activarea proiecțiilor cortexului motor către trunchiul cerebral și măduva spinării.

Calea indirectă a ganglionilor bazali operează diferit. Excitația corticospinală duce la inhibiția segmentului extern al pallidumului mediat de GABA și enkefalin și la dezinhibiția nucleului subtalamic, mediat de GABA, care la rândul său excită nucleul output mediat de glutamat. Acestea inhibă talamusul și diminuează excitatea ariei motorii suplimentare (Alexander și Crutcher, 1990; De Long, 1990).

Proiecția dopaminergică de la substanța neagră are numeroase efecte asupra neuronilor neostriatului. Astfel, dopamina excită calea directă și neuronii striali care trimit proiecții GABA și cu substanța P către nucleul output. În contrast, dopamina inhibă calea indirectă și neuronii striatului care trimit proiecții GABA și cu enkefalin către segmentul extern al pallidumului. Datorită acestui fapt, calea directă facilitează mișcările prin excitarea ariei motorii suplimentare, în timp ce calea indirectă are un efect opus, dopamina părând a facilita mișcarea prin acțiunea sa asupra ambelor căi. Aceste două căi se contrabalansează una pe alta. Activarea striatului poate avea efecte opuse asupra nucleului output (și astfel asupra talamusului și a cortexului).

Tulburarea activității diferitelor porțiuni ale acestor două căi interconectate, determină apariția unei degenerări a metabolismului transmitătorului (maladia Parkinson) sau producerea unei leziuni, (hemibalism) ce duce la disruperea balanței respective.

După locul disrupției, tulburarea poate provoca mișcări involuntare sau afectarea mișcărilor, manifestată prin akinezie (lipsa mișcărilor), bradikinezie (încetinirea mișcărilor) sau mers cu picioarele târâte ca în maladia Parkinson (Albin și colab., 1989; Yurec și Sladek, 1990).

Din punct de vedere biochimic, ganglionii bazali fac o notă aparte de celelalte formațiuni cerebrale, prin faptul că sunt bogați în dopamină, acetilcolină, acid gama-aminobutiric și serotonină. Dacă includem nucleul acumbens septi în complexul ganglionilor bazali, la această listă se adaugă și norepinefrina. Principala funcție a acestor substanțe este de a menține un mediu biochimic optim pentru neuroni în vederea transmiterii impulsurilor nervoase, precum și pentru oprirea și eliberarea acestora. Aceste sisteme neurohumorale se pot influența reciproc, direct sau indirect. Rolul lor principal la nivelul ganglionilor bazali este de a regla intensitatea răspunsului în acord cu viteza și direcția impulsului nervos.

Este vădit că la animale și la om funcția ganglionilor bazali include complexul perceptual și aspectul cognitiv al comportamentului, fapt care duce la necesitatea unei mai stricte reconsiderări a acestor structuri.

O trăsătură caracteristică importantă a funcției ganglionilor bazali exprimată deferit de către diverse subsisteme nu este nici pur motorie, nici pur senzorială, ci una combinată senzorio-motorie, ce implică un flux informațional, care merge de la sistemul așa-numit extrapiramidal motor către ambele regiuni centrale receptoare și efectoare. Totuși, în vederea efectuării acțiunii, sunt implicate și alte regiuni. Faptul atrage după sine o întreagă clasă de descărcări neortodoxe nu numai dinspre senzorial către motor, ci în primul rând de la motor la senzorial, preparând sistemele senzoriale pentru inputurile care vor produce executarea variatelor acțiuni eferente.

### **Tulburări cognitive și comportamentale ale pacienților cu leziuni ale ganglionilor bazali**

Până acum, rolul ganglionilor bazali, în special putamenul și pallidum-ul, se limita la comportamentul motor manifestat prin tremurătură, rigiditate, mișcări coreiforme, akinezie, dificultate în combinarea actelor motorii simultane sau secvențiale și întârzierea inițierii mișcărilor. Totuși, pacienții parkinsonieni care prezintă lentoare în realizarea unui program gestual (bradikinezie) și întârziere a inițierii motorii (akinezie) lasă impresia de a fi și întârziați în operațiile lor intelectuale (Hallet, 1990; Dubois și colab., 1991).

După Rogers și colab. (1987), bradifrenia sau akinezia psihică are o strânsă legătură cu întârzierea psihică de origine depresivă. Totuși, trebuie avut în vedere că în boala Parkinson, în paralizia supranucleară progresivă și în coreea Huntington, atingerea nucleilor cenușii centrali apare în contextul unor leziuni cerebrale mai generale, de tip vascular, anoxic, traumatic, sau degenerativ.

Autorii care au relevat perturbarea funcțiilor executive, dificultățile de rememorare și modificarea depresivă a dispoziției psihice (Taylor și colab., 1986; Pillon și colab., 1993; Pillon și colab., 1994), trebuie să aibă în vedere existența leziunilor cerebrale difuze din boala Parkinson, leziunile corticale asociate din



paralizia supranucleară progresivă și pierderea neuronilor corticali sau disrupția activității cognitive a circuitelor orbitofrontal lateral și prefrontal dorso-lateral din malădia Huntington. Apoi, nucleii bazali primesc inputuri și trimit proiecții corticale pe calea talamusului. Aproape toate conexiunile aferente ganglionilor bazali se termină în neostriat (nucleul caudat și putamen). Neostriatul primește inputuri de la cortexul cerebral și de la nucleii intralaminari ai talamusului. Cel mai important input, proiecția corticostriată, provine din cortexul cerebral. Această cale conține fibre din întregul cortex cerebral (ariile motorii, senzorială, asociativă și limbică). Aceste proiecții au o organizare topografică specifică, astfel încât unele arii corticale se proiectează în diferite părți ale neostriatului și au funcții comportamentale specifice (Alexander și Crutcher, 1990; Di Figlia, 1990; Landau, 1990). De exemplu, putamenul este legat de controlul motor, caudatul este implicat în controlul mișcărilor oculare și al unor funcții cognitive, iar striatul ventral este în relație cu funcțiile limbice. Inputurile neostriatului de la nucleii intralaminari ai talamusului au și ei o organizare topografică. Inputurile provenite de la nucleul centromedian se termină în putamen. Nucleul centromedian primește la rândul său inputuri de la cortexul motor, care influențează astfel ganglionii bazali.

Datorită afectării cortexului și căilor amintite, legătura dintre deficitul cognitive și atingerea ganglionilor bazali rămâne ipotetică.

Leziunile limitate ale nucleului caudat, care provoacă tulburări comportamentale la maimuță (Oberg și Divac, 1975), analoge celor observate după lezarea directă a cortexului prefrontal, se datorează afectării conexiunilor acestuia cu ariile asociative frontale. Au fost presupuse cinci bucle independente, paralele și recurente, fiecare interconectând arii specifice ale cortexului prefrontal cu subregiuni restrânse și bine definite ale ganglionilor bazali. Rolul funcțional al acestor circuite este destul de bine stabilit pentru buclele motorii și oculomotorii, dar rămâne în parte nedeterminat pentru alte bucle desemnate numai prin proiecțiile lor frontale: dorso-laterală, orbito-frontală, cingulară anterioară (Pillon și colab., 1996). Aceste bucle intervin, probabil, în procesele cognitive, comportamentale și motivaționale complexe (Dubois și colab., 1994). După opinia autorilor circuitul dorso-lateral ar fi implicat în planificarea și flexibilitatea comportamentală; disfuncționarea sa ar perturba funcțiile executive. Circuitul orbito-frontal ar contribui la inhibarea interferențelor și autonomiei personale; disfuncționarea lui ar antrena activități compulsive și o dezinhibiție. Circuitul cingular anterior ar interveni în motivarea și inițierea comportamentului; disfuncționarea lui ar fi la originea pierderii autoactivității psihice (Dubois și colab., 1994).

Totuși, analiza fină a consecințelor comportamentale ale leziunii cortexului frontal arată un oarecare număr de diferențe (Canavan și colab., 1989; Eslinger și colab., 1993). Deprte de a acționa în mod serial, cortexul frontal și ganglionii bazali ar participa la un sistem parțial închis de feedback prin intermediul buclelor recurente (Taylor și Saint-Cyr, 1992). Nucleii cenușii intervin direct în funcțiile exclusive, în timp ce cortexul prefrontal conștientizează și dirijează aceste mișcări către un scop anume.

Pacienții cu leziuni ale cortexului frontal au dificultăți în elaborarea programelor noi de comportament adecvate mediului ambiant modificat și în inhibarea comportamentelor cu dependența ambientală (Dubois și colab., 1994). Pacienții cu leziuni ale nucleilor bazali au dificultăți în menținerea unui program comportamental în curs de realizare și în automatizarea acestui nou program, cu scopul de a-i facilita utilizarea ulterioară (Saint-Cyr și Taylor, 1992). La pacienții cu leziune ischemică a părții dorso-laterale a cortexului prefrontal, exprimarea de programe preexistente stânjenește elaborarea programelor noi (Verin și colab., 1993). Prin urmare, în elaborarea acestor programe noi intervine partea dorso-laterală a cortexului prefrontal, care ar trebui, în paralel, să inhibe activarea de comportamente elaborate anterior, dar care nu mai sunt cerute în situația prezentă. Executarea programelor noi ar pune în joc un vast circuit neuronal format din bucle striato-frontale, al căror rol ar fi de a menține schemele de acțiune până la executarea lor completă și de a participa la automatizarea lor, pentru a-i facilita folosirea ulterioară. Ganglionii bazali ar interveni pentru a selecționa (în parte conștient, intuitiv) din schemele de comportament prestabilite și automatizate pe cele adaptate cel mai bine la situație (Pillon și colab., 1996).

În cazul parkinsonienilor și al altor bolnavi cu afecțiuni degenerative ce implică ganglionii bazali, perturbarea profilului cognitiv și comportamental este cauzată de pierderea neuronilor corticali, de afectarea circuitelor și de diminuarea neurotransmițătorilor. Prin urmare, leziunile la acești bolnavi nu sunt pur subcorticale și nu implică în mod focal numai ganglionii cenușii, ci și oricare din componentele circuitelor care conectează structurile frontale cu cele subcorticale. Oricare ar fi nivelul leziunilor, perturbările rămân aceleași. Din această cauză, cei care au studiat tulburările cognitive și comportamentale ale pacienților cu leziuni focale ale ganglionilor bazali au relevat prezența tulburărilor de memorie, tulburări ale funcțiilor executive, pierderea activității psihice din proprie inițiativă, activități stereotipe și compulsii.

Eficiența intelectuală globală a acestor pacienți este în general normală. Tulburările de vorbire și perturbările semantice complexe observate în urma hemoragiilor și infarctelor de nucleu caudat (Mehler, 1987; Viader și colab., 1987; Pedrazzi și colab., 1990) sunt cauzate de atingerea substanței albe. Neostriatul intervine în articulare și contribuie la viteza de execuție, la volumul vocii și, probabil, la inițierea expresiei lingvistice, aceasta cu toate că dizartria, disprozodia, hipofonia și palilalia pot să apară și ca urmare a leziunilor ganglionilor bazali (Alexander și colab., 1987).

Tulburări de memorie explicită apar în leziunile focale ale ganglionilor bazali, în special când este implicat nucleul caudat (Mendez și colab., 1989; Laplane și colab., 1989; Trillet și colab., 1990; Caplan și colab., 1990; Penisson-Besnier și colab., 1992; Defontaines și colab., 1994).

În urma lezării nucleului caudat, pacienții se comportă ca și cum informația de memorizare ar fi menținută, dar fără a putea fi regăsită.



Aceste rezultate implică striatul și în mod special nucleul caudat în organizarea și folosirea procesului de rapel (Pillon și colab., 1996).

Tulburările de memorie procedurală sunt puțin studiate în leziunile focale ale ganglionilor bazali. Memoria procedurală privește aptitudinile sau abilitățile senzoriomotorii învățate, precum și procesele inconștiente care intervin în formarea obișnuințelor comportamentale, bazate pe stabilirea conexiunilor dintre stimulări și răspunsuri de-a lungul repetării. Putamenul ar putea juca un rol critic în achiziția de proceduri esențialmente motorii (Weingartner și colab., 1984; Alexander și colab., 1987; Caplan și colab., 1990).

Rezultatele lui Seitz și colab. (1990) și ale lui Deweer și colab. (1994) relevă că leziunile putaminale provoacă dificultăți de scriere, de semnare și de dactilografiere, intervenind astfel în achiziționarea și automatizarea procedurilor noi și în menținerea comportamentelor de rutină.

Sistemul ganglionilor bazali produce o formă mai primitivă a memoriei, constituită din legături stimul-răspuns rigide și inaccesibile experienței conștiente, nici în stadiul de achiziție, nici în cel de rapel.

Ele furnizează organismului un stoc de obișnuințe adaptative și fiabile, permițându-i să reacționeze în mod eficient (Bochevalier, 1996).

Perturbările funcțiilor executive sunt mai limitate în leziunile ganglionilor bazali, decât în cele ale cortexului frontal afectat prin procese diferite (Pillon și colab., 1996). Aceste funcții integratoare îmbracă ansamblul proceselor cognitive necesare realizării unor teste complexe, care necesită: 1) analiza, menținerea în memoria pe termen scurt și tratarea secvențială a informațiilor; 2) elaborarea unui plan bazat pe o strategie autoelaborată; 3) capacitatea de a schimba planul în funcție de modificările mesajelor din mediul înconjurător; 4) inhibiția răspunsurilor non-pertinente legate de stimuli de interferență sau de distragere; 5) menținerea programului de răspuns până la realizarea lui completă (Dubois și colab., 1994).

Afectarea dispoziției și personalității sunt frecvent întâlnite în boala Parkinson. Depresia poate să preceadă apariția tulburărilor motorii, dar severitatea ei nu este proporțională cu gravitatea bolii.

Performanțele cognitive ale pacienților deprimați, evidențiate în probele care pun în joc rapiditatea motorie sau funcțiile executive, sunt inferioare celor ale pacienților nedeprimați (Starkstein și colab., 1989).

Modificările personalității, apatia și inerția au fost puse în relație cu disfuncția ganglionilor bazali și cu cea a buclilor cingulară anterioară și orbito-frontală (Starkstein și colab., 1992). Rigiditatea și hipercontrolul ar caracteriza personalitatea premorbidă a parkinsonienilor și ar fi legate de disfuncția sistemelor dopaminergice (Todes și Lees, 1985; Menza și colab., 1993).

Pentru Brawn (1993), perturbarea responsabilă de tulburările cognitive ale pacienților parkinsonieni non-demenți constă dintr-o diminuare a resurselor atenționale și a controlului atenției. Suntem de acord cu concepția lui Pillon și

colab. (1996), conform căreia perturbările observate în testările cognitive se datorează unei disfuncții frontale.

Descrierea la primate a buclelor paralele, care leagă nucleul caudat de regiunile frontale dorso-laterale, orbitale și cingulare anterioare prin intermediul talamusului, întărește această ipoteză (Alexander și colab., 1986).

Perturbările comportamentale care contribuie la dezvoltarea dificultăților cognitive ale pacienților cu leziuni focale ale ganglionilor bazali se manifestă prin apatie, inerție, prin reducerea marcată a activității spontane (tendința de a rămâne în același loc toată ziua) și dezinteres față de starea lor, mai ales atunci când leziunile sunt bilaterale și ating pallidum-ul. Blocajul kinetic și mintal interpretat ca akinezie psihică sau ca o pierdere de autoactivare psihică dispar atunci când bolnavul este incitat să întreprindă o activitate. Această pierdere a autoactivării psihice descrisă în leziunile globusului pallidus, ale nucleului caudat, și ale talamusului bilateral (Habib și Poncet, 1988; Strub, 1989; Trillet și colab., 1990) nu reprezintă altceva decât o variantă anatomică a mutismului akinetic. Ea sugerează că atât complexul striato-palidal, cât și talamusul fac parte din circuitul neuronal limbic, care are sub dependența sa elementele subiective ale răspunsurilor emoționale.

Indiferența afectivă, anhedonia, diminuarea răspunsurilor emoționale, absența proiecției în viitor, lipsa de interes pentru anturaj, sărăcia conținutului de idei ar putea să evoce și o stare depresivă. Totuși, pierderea autoactivării afectelor nu se asociază cu sentimente de tristețe, de abandon, de disperare, iar pacienții nu-și exprimă intenția de a se sinucide.

Elementele depressive observate în anumite leziuni ale nucleilor cenușii centrali ai hemisferei stângi nu sunt consecința disfuncționării exclusive a complexului striato-palidal, dar fac să intervină alți factori, ca elementele reacționale ale bolii sau atingerea sistemelor de neurotransmițători ascendenți, serotoninergici (Sano și colab., 1992) sau noradrenergici (Starkstein și colab., 1988).

Inerția și slăbirea afectelor observate adesea în leziunile ganglionilor bazali ar implica atingerea pallidum-ului inferior sau ventral (Défontaines și colab., 1994), care primește proiecții de la striatul ventral și face parte din bucla cingulară anterioară. Acest fapt explică apropierea dintre akinezia psihică și mutismul akinetic.

Conexiunile neostriatului și talamusului cu cortexul asociativ heteromodal și paralimbic prelucrează informațiile într-un mod general și le integrează în motivație, afect, experiență și chiar în personalitate.

În leziunile care ating, în principal, regiunea ventro-mediană a nucleului caudat (Richfield și colab., 1987; Mendez și colab., 1989; Penisson-Besnier și colab., 1994), regiune care se proiectează pe fața orbitală a cortexului perifrontal (Alexander și colab., 1986), apar comportamente hiperactive, explozii caracteriale violente și impulsivitate.

Existența unui hipometabolism frontal în cele două tipuri de tulburări pot să contribuie la întreținerea confuziei (Phelps și colab. 1984; Laplane și colab., 1989).



Activități stereotipe și compulsiuni sunt observate la pacienții care prezintă leziuni focale ale ganglionilor bazali. Ele se pot manifesta prin aritmomanie (Laplane și colab., 1989), prin numărutul mintal al tuturor obiectelor din vecinătate (Pénisson-Besnier și colab., 1992) prin repetarea unor fraze impuse (Laplane și colab., 1989) și prin coprolalie (Ali-Cherif și colab., 1984). Cele motorii sau gestuale (strigăte, mișcări repetate ale degetelor, bătăi de mâini) par a fi datorate imposibilității de a opri un program în desfășurare (neputință de a întrerupe programul automat de aplaudat). Semnul aplaudării exprimă atingerea complexului striato-pallidal (Eslinger și Grattan, 1993). El este observat în mod constant în paralizia supranucleară progresivă (Dubois și colab., 1988). Lezarea ganglionilor bazali ar împiedica cortexul frontal de a-și exercita rolul său de feedback negativ și de a inhiba aceste comportări automate (Pillon și colab., 1996).

Subiectul, deși conștient de caracterul absurd al activităților stereotipice asociate leziunilor ganglionilor bazali, nu luptă împotriva lor.

Majoritatea probelor sensibile, în cazul unei disfuncții frontale, pot fi perturbate în leziunile ganglionilor bazali.

Inaptitudinea parkinsonienilor de tratare paralelă a două informații cognitive simultane (vizuală și auditivă) este legată de dificultățile de integrare senzorială (Stern, 1987; Arteida și colab., 1992; Malapani și colab., 1994). Aceștia au performanțe normale pentru fiecare din cele două probe efectuate separat, dar când cele două teste sunt efectuate în mod simultan, apare o alungire patologică a distanței dintre cele două răspunsuri (Malapani și colab., 1994). Mai mult, estimarea și reproducerea unei durate sunt modificate la pacienții parkinsonieni (Pastor și colab., 1992; Malapani și colab., 1994), sugerând o perturbare a orologiului intern.

Alte dificultăți ar putea să rezulte din incapacitatea pacienților de a aprecia consecințele comportamentului lor (Saint-Cyr și Taylor, 1992) sau de a dirija din nou atenția lor către stimuli neîntăriți în timpul încercărilor precedente (Owen și colab., 1993). Trebuie avute în vedere conexiunile de proiecție dintre neuronii corticali și structurile subcorticale.

Cortexul senzorial somatic primar are patru ținte majore pentru proiecțiile descendente; ganglionii bazali, nucleul ventral posterior al talamusului, nucleii coloanelor dorsale și conul dorsal al măduvei spinării. Proiecțiile descendente controlează influxul informațiilor senzoriale către creier. Celulele piramidale din stratul cortical 5, care dau fibre de proiecție la centrii reflecși inferiori, fac posibilă coordonarea mișcărilor de explorare, ținere și fixare a stimulilor în timpul percepției. La pacienții parkinsonieni au fost descrise și tulburări vizuospatiale. Natura lor rămâne discutabilă, dat fiind faptul că sunt observate în activități care au componente motorii (Hovestadt și colab., 1987) sau care necesită o planificare (Ogden și colab., 1990), flexibilitate mintală (Brown și Marsden, 1986; Raskin și colab., 1992), sau autoelaborare de strategii mintale în absența reperelor externe (Ransmayr și colab., 1987). Dubois și colab. (1991) consideră că tulburările

vizuospatiale specifice din boala Parkinson sunt legate de o disfuncție parietală, ipotetică, pe când Taylor și colab. (1986) și Ogden și colab. (1990) atribuie aceste tulburări atingerii funcțiilor executive sau unei diminuări a resurselor atenționale de origine subcorticală.

Prin urmare, striatul nu poate să fie considerat ca o structură pur motorie. Rolul său în integrarea senzorială, în focalizarea atenției, în integrarea temporală, în procesul de motivare și de recompensă traduce intervenția sa în programarea și controlul comportamentului (Pillon și colab., 1996).

Metodele moderne de trasare a conexiunilor au demonstrat existența unor rețele și circuite paralele, în care hărți somatotopice, motorii, vizuale, tonotopice etc., se repetă de un mare număr de ori în regiuni foarte diverse. Modalitățile de funcționare a acestor rețele sunt încă în mare parte necunoscute: probabil că aceeași structură anatomică realizează același tip de prelucrare asupra unor informații diverse (Duyckaerts și Hauw, 1996).

Aspecte clinice Maladiile ganglionilor bazali se caracterizează prin tulburări specifice în metabolismul transmițătorilor și prin mișcări involuntare.

Acestea includ tremurul (mișcări oscilatorii, involuntare, ritmice), atetoză (mișcări lente de crispă ale mâinilor, degetelor și uneori ale degetelor picioarelor), coreea (mișcări abrupte ale mușchilor membrelor și feței), balismul (mișcări violente ca de îmblăciu) și distonia (o postură persistentă a unei părți a corpului, care duce la apariția unor mișcări grotești sau unor poziții distorsionate).

Aceste simptome apar adesea împreună și au o bază comună. Jackson (1932) a împărțit toate tulburările motorii în două clase: cu semne negative, atribuite pierderii funcției neuronilor specifici și cu semne pozitive (sau fenomene de eliberare), cauzate de pierderea controlului inhibitor al neuronilor. Mișcările anormale care apar în cazul afectării ganglionilor bazali aparțin celei de a doua categorii.

Diferite aspecte ale bolilor ganglionilor bazali pot fi simulate prin manipularea sistemelor transmițătoare specifice. De exemplu, akinezia (dificultatea inițierii unei mișcări) asociată adesea cu rigiditate și posturi anormale apare după distrucția sau blocarea căii dopaminice ascendente.

Simptomele asemănătoare parkinsonismului pot fi produse experimental, mai ușor pe animale, prin alterarea sistemului transmițător specific ce cauzează un output anormal din ganglionii bazali, decât prin lezarea ganglionilor bazali, care elimină outputul. Astfel, s-a constatat că patogenia tulburărilor ganglionilor bazali umani este determinată de disrupția metabolismului transmițătorilor (Côté și Crutcher, 1991).

Studiile clinicopatologice ale celor mai multe forme de dischinezie caracterizate ca extrapiramidale arată existența unor modificări neurologice răspândite. În astfel de tulburări corpul striat suferă modificări patologice, dar pot



fi de asemenea afectați și nucleii specifici ai trunchiului cerebral, precum și o parte din cortexul cerebral.

În continuare nu vom analiza amănunțit și în totalitate bolile extrapiramidale, ci vom arăta doar câteva date mai noi referitoare la acestea.

**Boala lui Parkinson.** Această tulburare motorie a fost descrisă în anul 1817 de către James Parkinson. Maladia Parkinson (paralysis agitans) este cea mai bine studiată afecțiune a ganglionilor bazali. Simptomele acesteia sunt: 1) tremurul ritmic de repaus, 2) creșterea tonusului muscular sau rigiditatea cu aspect de roată dințată sau cu clichet, 3) akinezia manifestată prin dificultatea inițierii unei mișcări și sărăcia mișcărilor spontane, 4) bradikinezia (încetinirea executării mișcărilor).

În maladia Parkinson există o diminuare marcată a proiecțiilor dopaminergice de la substanța neagră.

În anul 1959 Carlsson a observat că 80% din dopamina cerebrală era localizată în ganglionii bazali, arie ce reprezintă mai puțin de 0,5% din greutatea totală a creierului. Mai târziu, Hornykiewicz (1966) a constatat, prin examinarea postmortem a pacienților cu maladie Parkinson, că în ganglionii bazali conținutul de dopamină, norepinefrină și serotonină era drastic scăzut. În afara reducerii dopaminei s-a constatat o pierdere însemnată a celulelor nervoase și depigmentarea a doi nuclei din trunchiul cerebral: substanța neagră și locus ceruleus. Severitatea modificării substanței negre era paralelă cu reducerea dopaminei striatale. Deoarece pars compacta substanței negre conține cele mai multe celule nervoase dopaminergice din creier, această observație a sugerat că, în cazul maladii Parkinson, există o afectare marcată a căilor dopaminergice ce pleacă de la substanța neagră și ajung la striat.

Birkmayer și Hornykiewicz (1976) s-au gândit că pacienții cu maladie Parkinson ar putea beneficia de aducerea la normal a cantității de dopamină cerebrală. În acest sens, au administrat intravenos L-3, 4-hidroxifenil-alanină (L-DOPA), aminoacid precursor imediat al dopaminei care traversează bariera hematoencefalică. Cu această substanță, autorii de mai sus au obținut o remisie remarcabilă a simptomelor, dar de scurtă durată, sugerând astfel o nouă abordare a tratamentului maladii Parkinson.

Modul în care L-DOPA ameliorează simptomele acestei maladii este neclar. Dopamina este sintetizată în neostriat, în terminațiile nervoase ale neuronilor dopaminergici al căror corp celular se află în substanța neagră. În maladia Parkinson peste 90% din neuronii dopaminergici degenerază. Se presupune astfel că L-DOPA este convertită în dopamină de către celeulele nervoase dopaminergice restante.

Neuronii dopaminergici sănătoși și cei parțial degenerați ar putea compensa funcția întregului sistem nigrostriat prin bypassarea tirozinhidroxilazei, enzimă limitatoare a sintezei de dopamină (Yurek și Sladek, 1990).

O altă posibilitate se referă la faptul că DOPA decarboxilaza, care nu este specifică neuronilor dopaminergici, poate sintetiza dopamina în celulele nedopami-

nergice (exemplu în neuronii serotonergici, alți neuroni sau în celulele gliale) din L-DOPA administrată oral. Această dopamină exogenă poate acționa corpunzător la nivelul celulelor țintă (Côté și Crutcher, 1991).

În afara proiecțiilor dopaminergice din neostriat, există proiecții dopaminergice în anumite părți ale sistemului limbic și în neocortexul frontal. Akinezia pacienților cu maladie Parkinson ar putea fi determinată parțial de deplețiția dopaminică din sistemul limbic, în special din nucleul acumbens, în timp ce unele deficite cognitive din această boală ar putea fi date de pierderea dopaminei din terminațiile nervoase corticale.

Deși datele recente sugerează că numai pierderea dopaminei striale duce la apariția majorității simptomelor din maladia Parkinson, s-a constatat totuși în cadrul acestora și pierderea neuronilor noradrenergici din locus ceruleus și a neuronilor serotonergici din nucleii rafeului.

În 1982, în California, șapte persoane care utilizau droguri și-au injectat intravenos un derivat sintetic de heroină, după care au apărut semne și simptome de maladie Parkinson (rigiditate, akinezie, bradikinezie, tremur și postură aplecată).

Curând s-a descoperit că drogul era contaminat cu 1-metil-4-fenil-1, 2, 3, 6-tetrahidropirină (MPTP). Injectarea acestui derivat la animalele de experiență a dus la dezvoltarea acelorași simptome clinice. Acest fapt a avut mare importanță, deoarece cu ajutorul lui s-au putut crea modele animale de maladie Parkinson. La acestea s-a constatat reducerea semnificativă a dopaminei cerebrale apărută ca rezultat al pierderii celulelor dopaminergice din ariile pars compacta și ventrală a substanței negre. S-a sugerat atunci că, în producerea maladiiei Parkinson, un rol important l-ar putea avea o substanță toxică din mediul înconjurător. Totuși, la om nu s-a descoperit până în prezent nici o astfel de toxină. Cercetarea mecanismelor prin care MPTP acționează a dus la descoperirea faptului că aceasta trebuie convertită în MPP (1-metil-4-fenil-piridinium) de către monoamin oxidaza. Acest fapt a sugerat posibilitatea ca inhibitorii monoamin oxidazei să poată bloca evoluția maladiiei Parkinson (Langston și Irwin, 1986; Kopin și Markey, 1988).

Datele recente sugerează că L-deprenilul, un inhibitor selectiv al monoamin oxidazei B, încetinește evoluția maladiiei Parkinson și crește nivelul dopaminei în creierul pacienților. Prin urmare, astăzi L-deprenilul este utilizat împreună cu L-DOPA în tratamentul pacienților cu Parkinson. Deși inițial s-au pus mari speranțe în tratamentul cu L-DOPA acum se constată că el controlează doar unele simptome neinfluențând evoluția bolii. În plus, unii pacienți devin refractari sau prezintă efecte secundare după tratamentul îndelungat cu L-DOPA. Pentru depășirea limitelor terapiei cu L-DOPA s-a recurs la transplantarea în striat a celulelor fetale cu dopamină, la talamotomie, pallidotomie și la stimularea cronică (Dănăilă și colab 1997; Dănăilă și Herscovici, 1998). Utilizarea transplantelor este încă în dezbatere, iar intervențiile neurochirurgicale stereotaxice reduc tremurul și rigiditatea, fără a ameliora însă bradikinezia și mersul.

Deoarece în parkinsonism există o afectare a transmiterii dopaminergice care duce la preponderență colinergică, pentru tratarea acestei boli se face uz și de



medicamente anticolinergice. L-DOPA a exclus din ce în ce mai mult din arsenalul terapeutic anticolinergicele care în ultimă instanță se întrebuințează în asociație cu aceasta, deoarece anticolinergicele duc la o ameliorare simptomatică. Medicamentele antivirale Symmetrel (R) și Amantadina produc o marcată ameliorare a bolii Parkinson. Modul de acțiune a acestora este necunoscut, dar se crede că au efect anticolinergic. Cotzias și colab. (1976) au făcut cercetări pentru lămurirea efectului hormonului de creștere și al somatostatinelor în tratamentul bolii Parkinson. S-a dovedit că hormonul de creștere are un rol important în distribuția multor substanțe cerebrale, ca levodopa și apomorfina.

**Boala lui Huntington** În anul 1872 Huntington a descris boala pe care tatăl și bunicul său au observat-o la mai multe generații de pacienți. Maladia are patru trăsături caracteristice: moștenirea, coreea, demența și decesul la 15-20 de ani de la debut. Această afecțiune care apare în egală măsură la bărbați și femei este întâlnită în 5 cazuri la 100.000 locuitori. La cei mai mulți bolnavi debutul maladiei apare în decada a patra și a cincea de viață, după ce indivizii se căsătoresc și au copii. Șansa moștenirii bolii la copii este de 50%. Primele semne ale maladiei sunt discrete, manifestându-se prin absențe mintale, iritabilitate și depresie acompaniată de agitație, neîndemânare în căderi bruște. Mișcările involuntare, trăsătura cea mai importantă a maladiei, se accentuează gradat până când pacientul cade la pat sau ajunge să fie deplasat cu scaunul cu roțile.

La început vorbirea este dificilă apoi incomprehensibilă, pentru ca în final să devină imposibilă din cauza expresiilor faciale distorsionate și grotești.

Și funcțiile cognitive se deteriorează treptat, iar abilitatea de a reacționa dispare. Deoarece tulburarea psihică de multe ori constituie trăsătura caracteristică, aproximativ o treime din cazuri se prezintă la consultație pentru această suferință. Inițial, bolnavii sunt cotați drept isterici, sociopați sau schizofrenici. Unii au cefalee, iar alții sunt iritabili și impulsivi. În general, la acești bolnavi pot fi întâlnite toate complexele psihiatrice, dar caracteristica principală este deteriorarea insidioasă și inexorabilă a tuturor funcțiilor mintale.

Nu există nici un tratament pentru această maladie. O dată declanșată, ea își urmează evoluția inexorabilă către diminuarea gradată a capacităților intelectuale, inabilitate totală și moarte (Côté și Crutcher, 1991).

Boala lui Huntington se datorează pierderii seturilor specifice de neuroni colinergici și GABA-ergici din striat. Moartea celulelor nervoase (peste 90%) din striat duce la apariția coreei.

Afectarea funcțiilor cognitive și eventual demența poate fi dată fie de pierderea concomitentă a neuronilor corticali, fie de disrupția activității normale a porțiunilor cognitive din ganglionii bazali, cum ar fi circuitele prefrontal dorsolateral și orbitofrontal lateral. În prezent, cu ajutorul rezonanței magnetice se poate pune în evidență în timpul vieții pierderea neuronilor din nucleul caudat al pacienților cu maladie Huntington.

În mod normal trebuie să existe un echilibru în activitatea a trei sisteme biochimice, care interacționează funcțional: sistemul dopaminergic nigrostriat; 2)

neuronii colinergici intrastriatali; și 3) sistemul GABA-ergic, ce se proiectează din striat pe globus pallidus și substanța neagră (Côté și Crutcher, 1991).

În maladia Parkinson reducerea sistemului dopaminergic duce la creșterea outputului ganglionilor bazali către talamus provocând tremur, rigiditate și bradikinezie. În maladia Huntington sunt distruși neuronii intrastriatali colinergici și GABA-ergici (Di Figlia 1990). La început dispar neuronii GABA-ergici, care proiectează către segmentul extern al pallidumului. Această pierdere eliberează inhibiția pallidumului extern și suprimă activitatea subtalamică datorită creșterii inputului GABA-ergic. Lezarea nucleului subtalamic duce la apariția mișcărilor involuntare ale membrelor de o parte a corpului (hemibalism). Coreea, altă caracteristică a maladii lui Huntington se datorează tot reducerii activității nucleului subtalamic. Astfel, maladia Huntington și maladia Parkinson, care clinic se prezintă cu simptome opuse (una cu hipotonie și hiperkinezie și alta cu hipotonie și hipokinezie), sunt determinate de alertări aproape opuse ale outputului ganglionilor bazali (în maladia Huntington scăderea și în maladia Parkinson creșterea lui).

La pacienții cu maladie Huntington sunt marcat scăzute în striat atât colinacetyltransferaza, enzimă necesară pentru formarea acetilcolinei, cât și glutamat acid decarboxilaza, enzimă necesară pentru sinteza GABA. Acest deficit enzimatic concordă cu observația clinică conform căreia mișcărilor coreice se înrăutățesc la pacienți cu maladie Huntington după administrare de L-DOPA. Invers, administrarea unei cantități mai mari de L-DOPA la un pacient parkinsonian duce la dezvoltarea mișcărilor involuntare de tip coreic, atetozic sau dtonic.

Prin urmare, orice imbalanță între dopamină, acetilcolină și sistemul GABA duce la apariția mișcărilor involuntare (Côté și Crutcher, 1991).

**Balismul.** Această formă de diskinezie apare în cazul unor leziuni discrete, de obicei hemoragice, limitate la nucleul subtalamic sau la conexiunile lui imediate. Singura formă de diskinezie, alta decât tremurul cerebelos, produsă experimental la animale și care seamănă cu cea de la om este aceea care rezultă după discrete leziuni ale nucleului subtalamic. La maimuță, apare o violentă activitate balistică și coreoidă contralaterală leziunii nucleului subtalamic, ce distruge aproximativ 20% din el și păstrează integritatea sistemului de fibre palido-fugal înconjurător (Carpenter, 1979). Această formă anormală de activitatea a fost denumită diskinezie subtalamică. În astfel de cazuri, diskinezia afectează membrul inferior contralateral, în timp ce fața, limba, deglutiția și musculatura cervicală nu sunt afectate niciodată (Marsden, 1975).

Diskinezia membrului inferior se asociază cu distrucția părții rostrale a nucleului subtalamic, pe când cea a membrului superior este în relație cu lezarea părții caudale a nucleului. Această diskinezie poate fi abolită fără a produce pareze prin leziuni distructive ale unor porțiuni din segmentul medial al lui globus pallidus, al fasciculului lenticular sau al nucleului ventral lateral al talamusului (Carpenter, 1979). Astfel de diskinezie poate fi abolită și prin ablația cortexului motor (aria 4) contralateral și prin secționarea tractului corticospinal ipsilateral la nivel cervical superior. Prin ablația ariei 6, distrucția nucleului centro-medial sau lezarea întinsă



a nucleului roșu, nu apare nici o modificare semnificativă a acestei forme de diskinezie. Faptele arată că la om nucleul subtalamic exercită în mod normal o influență reglatorie și inhibitorie asupra lui globus pallidus. Lezarea nucleului subtalamic eliberează globus pallidus de acest control și duce la apariția mișcărilor bruște, neregulate, forțate, cu amplitudine mare balistică de partea opusă a corpului. Impulsurile din globus pallidus ajung la cortexul motor ipsilateral pe calea nucleului ventral lateral al talamusului. De aici, pe calea tractului corticospinal, ajung la măduva spinării, unde multe fibre din acest sistem fac decusație.

Tentativele de a aboli variatele forme de diskinezie sau de hipertonie musculară prin procedee chirurgicale se bazează pe faptul că aceste tulburări sunt expresia fiziologică a unui fenomen de eliberare de sub influența inhibitorie (Marsden, 1976).

Lezarea patologică a acestor structuri inhibitorii, în care circuite ale sistemului reticulat inhibitor ascendent au un rol preponderent, duce la activarea exagerată a unor structuri rămase intacte, dar scoase de sub această influență inhibitorie.

Hiperactivitatea acestor structuri intacte este responsabilă de diskinezie. Acest fapt sugerează că segmentele mediale și laterale ale lui globus pallidus au conexiuni unice și deci funcții distincte.

Segmentul medial pallidal poate fi interesat în toate formele de diskinezie provocate de afectarea patologică a corpului striat, deoarece dă naștere la sistemul eferent major de conectare cu nucleii talamici de relație. Conform acestei rațiuni, lezarea segmentului pallidal medial ameliorează cele mai multe forme de diskinezie dată de ganglionii bazali.

Există date suficiente care arată că scoarța cerebrală joacă un rol important în mecanismul diskineziei. Astfel, multe forme de mișcări involuntare anormale cedează în timpul somnului sau al anesteziei generale, sunt exagerate de stările emotive, de anxietate și de oboseală sau dispar după ablația cortexului motor sau întreruperea tractului corticospinal. Aceasta arată că sistemul extrapiramidal nu constituie o unitate motorie independentă.

Ca tratament medicamentos se utilizează neurolepticele (butirofenonele).

**Diskinezia tardivă** Diskinezia tardivă este o altă tulburare clinică ce se datorează afectării ganglionilor bazali. Simptomele sale se caracterizează prin apariția unor mișcări involuntare care afectează fața și limba (sindromul masticator buco-lingual). Mai târziu, tulburările se extind, incluzând variate manifestări musculare de tip coreoatetozic, balistic, diafragmatic, retrocolic sau de tip opistotonus, acatisic sau parkinsonian. Această distonie este o tulburare indusă medical (iatrogenică), cauzată de tratamentul de lungă durată cu agenți antipsihotici, care scad funcția celulelor dopaminergice-fenotiazinele (exemplu clorpromazina, perfenazina) și butirofenonele (exemplu haloperidol). Aceste medicamente blochează transmiterea dopaminergică sau pot eventual face receptorii dopaminergici hipersensibili la dopamină. În acest mod se produce o alterare a balanței dintre sistemele dopaminergic, colinergic intrastriatall și GABA-ergic,

alterarea care are drept consecință apariția mișcărilor involutare. Singurul tratament constă în întreruperea medicației.

**Coreea** Această boală se caracterizează printr-o serie de mișcări succesive involutare de considerabilă complexitate, care apar brusc, inserate cu fragmente din mișcările voluntare. Inițial sunt afectate mișcările părților distale ale extremităților, ale mușchilor expresiei faciale, limbii și mușchii deglutiției.

Coreea Sydenham apare în copilărie în asociație cu bolile de inimă. Reumaticii și mulți alți pacienți se vindecă în scurt timp.

Coreea Huntington este ereditară și se caracterizează prin mișcări coreiforme și demență progresivă. Acestea apar în cadrul maladiei Huntington.

**Atetoză** Tulburare descrisă de Hammond (1817) constă din mișcări involutare lente, vermiforme, de răsucire, care afectează în special extremitățile și uneori mușchii feței și gâtului. Mișcările se contopesc una cu alta pentru a da aparența unui spasm mobil continuu.

Mișcările atetoide interesează în primul rând musculatura axială, producând torsiuni severe ale gâtului, centurii pelviene și scapulare.

O formă a atetozei este spasmul de torsiune sau distonia de torsiune. Diferența dintre torsiunea distonică și atetoză este dată în special de diferențele mecanice care iau naștere în musculatura axială și apendiculară.

Cel mai frecvent, atetozele sunt asociate cu procese patologice, care interesează striatul și cortexul cerebral, deși aceste leziuni se găsesc uneori în globus pallidus și în talamus.

Hemiatetoză se poate dezvolta după o hemipareză sau în asociere cu ea ca o consecință a leziunilor cerebrovasculare, care distrug porțiuni din capsula internă și striat. Mișcările atetoide apar controlateral leziunii.

**Sindromul Gilles de la Tourette.** Acesta este constituit din tulburări motorii și comportamentale. Primul simptom se manifestă printr-un tic muscular care începe la 2-14 ani. Ulterior, apar tulburări comportamentale, stări emotive repetate, ecolalie și coprolalie. După rezultatele investigațiilor farmacologice se consideră că aceasta este o afecțiune a ganglionilor bazali. La acești bolnavi s-a constatat prezența unei hiperactivități a neuronilor dopaminergici striatali, fapt reflectat în concentrația acidului homovanilic din lichidul cefalorahidian.

Acest acid este metabolitul major al dopaminei cerebrale, iar concentrația sa din LCR reflectă metabolismul dopaminei cerebrale, mai ales din striat.

Haloperidolul, care este un agent blocant al receptorilor de dopamină, este cel mai eficace medicament în sindromul Tourette (Van Woert și colab., 1976).

**Distoniile.** Acestea fac parte din categoria tulburărilor tonusului muscular. Despre ele dispunem de date relativ puține. Nu s-a stabilit nici o modificare biochimică de bază în aceste afecțiuni. Termenul de distonie este întrebuințat pentru a descrie: a) o stare anormală a unei contracții musculare; b) un sindrom cu mișcări involuntare anormale (torsiunea distonică); c) o boală (deformarea musculară distonică). Vom aminti, de asemenea variate manifestări idiopatice de torsiune distonică apărute la copil și în cazul unor entități izolate la adult, ca de exemplu crampa scriitorului, torticolisul



spasmodic, blefarospasmul și distonia oromandibulară -diferite manifestări de debut ale distoniei de torsiune (Marsden, 1976 a+b).

a) *Distonia* -ca o contracție musculară anormală- se manifestă sub forma unei poziții rigide prelungite. Rigiditatea este mai accentuată în stare de repaus și mai atenuată în timpul efectuării unor mișcări.

Denny-Brown (1968) vede în distonie o anormalitate fundamentală provocată de bolile ganglionilor bazali, care împreună cu hipokinezia au fost descrise printr-o varietate de modele distonice. Flexiunea distonică se referă la flexiunea membrelor, a gâtului și a trunchiului, tipice bolii Parkinson, bolii Wilson, coreei Huntington și altor demențe presenile.

Hemiplegia distonică se referă la postura de flexiune a membrelor superioare și de extensie a celor inferioare fără spasticitate, care urmează necrozei putamenului sau proiecțiilor corticostriatale.

Spasticitatea distonică apare după ictusuri capsulare în care ambele căi piramidale și extrapiramidale sunt interesate.

Torsiunea distonică se referă la posturile de răsucire a membrelor, gâtului și trunchiului caracteristice condiției de deformare musculară distonică. În plus, după Denny-Brown și Yamagisawa (1976) sunt incluse în această categorie rigiditatea decerebrată și flexiunea fixă a membrelor superioare, care urmează leziunilor câmpului lui Forel (distonia segmentară). Marsden (1976 a) întrebunțează termenul de distonie pentru a descrie toate mișcările caracterizate printr-un spasm muscular prelungit, care duce la posturi distonice proximale sau distale.

b) *Torsiunea distonică*, ca sindrom, este definită prin prezența mișcărilor și posturilor distonice, indiferent de cauză. Torsiunea distonică poate fi constantă sau intermitentă. Astfel de acțiune distonică poate apărea numai în unele ocazii și la unele mișcări, după care totul revine la normal. Situațiile de stres le favorizează. Dacă boala care produce sindromul este progresivă, posturile distonice pot apărea și în repaus. Când progresează mai mult contracția musculară spastică devine constantă, ținând o parte a corpului într-o postură distonică.

În final rămâne deci fixă, dar intensitatea spasmului distonic crește la stresuri fizice, mintale, emoționale și la încercarea de a face mișcări. El diminuează în perioadele de liniște mintală și la odihnă. În copilărie, cauza acestui sindrom o constituie traumatismele cerebrale și anoxia perinatală, dar mișcările și posturile distonice apar de obicei după al doilea an de viață. Oricum, posturile și spasmul distonic pot să nu fie evidente până la vârsta de 6-15 ani. Aproximativ 20% din acești pacienți au crize epileptice, iar 60% o inteligență subnormală. Cei mai mulți au deficite piramidale supraadăugate și spasticitate. La autopsie, ganglionii bazali au de obicei status marmoratus sau status demielinisatus.

Multe boli degenerative ale sistemului nervos pot conține elemente ale sindromului de torsiune diastolică, fapt care creează dificultăți de diagnostic. Acestea au fost întâlnite în ataxia Friedreich, maladia Wilson, degenerarea progresivă palido-pigmentală, coreea juvenilă Huntington și în boala Hallerworden-Spatz.

În trecut, encefalita letargică și sifilisul erau cauzele cele mai binecunoscute ale torsiunii distonice simptomatice. La adult puține boli produc aspectul de torsiune distonică generalizată, probabil encefalita letargică și calcifierea ganglionilor bazali.

Torsiunea distonică unilaterală apare la adulți, dar și la copii în caz de accidente vasculare cerebrale, traumatisme, după chirurgie stereotaxică palidă sau talamică și în timpul evoluției unor tumori sau angioame cerebrale. În afara acestor cauze o varietate întreagă de droguri poate produce distonia simptomatică. Drogurile neuroleptice (butirofenonele, fenotiazinele) produc nu numai parkinsonismul și akatizia, dar și reacțiile acute distonice, precum și diskineziile tardive cronice (Marsden și colab., 1975).

La copii sub 15 ani apare distonia generalizată, pe când la adulți este restrânsă la mâini, gât și brațe. Nouăzeci la sută din astfel de reacții apar în primele 5 zile de tratament, dar cel mai frecvent în primele 48 de ore. Ele se remit rapid după întreruperea tratamentului.

În contrast, dischineziile tardive și cronice apar după luni și ani de tratament și adesea persistă sau se înrăutățesc când aceste droguri sunt întrerupte. Reacția distonică acută poate fi produsă și de metoclopramid, diaxoxid, difenilhidantonină, terapia cu L-DOPA la parkinsoniei etc. (Marsden, 1976 a).

c) *Torsiunea distonică* ca boală nu are o cauză cunoscută. După Marsden și colab (1975) criteriile de diagnostic clinic sunt următoarele: 1) o boală caracterizată prin mișcări și posturi tipice distonice; 2) o dezvoltare perinatală normală; 3) în antecedente nu se găsește nici o boală sau administrare de drog, care poate produce sindromul; 4) nici un alt deficit neurologic; 5) nici o investigație de laborator, inclusiv cuprul, nu indică modificări patologice.

Primul simptom poate apărea în copilărie sau la vârsta adultă. S-a sugerat că cele mai multe dintre ele cu debut în copilărie au fost moștenite ca boli genetice. Debutul simptomelor, în majoritatea acestor cazuri, apare la picioare și progresează către distonie generalizată.

La adult boala este general focală, rămânând legată de brațe sau structuri axiale (distonia segmentară), de partea debutului (distonie focală) și numai foarte rar se poate generaliza. Fertilitatea normală sugerează că distonia nu a fost genetic determinată la aceste cazuri cu debut în viața adultă (după 20 de ani).

Maturarea sistemului nervos la adult duce la o formă mai puțin extinsă de boală și la relativa cruțare a picioarelor. La copii, la care sistemul nervos este nematurizat, apar manifestări progresive, generalizate.

d) *Distoniile focale*, după opinia lui Marsden (1976 b) se manifestă prin torticolisul spasmodic izolat, crampa scriitorului, blefarospasmul și distonia oromandibulară. Aceste 4 entități sunt manifestări focale izolate ale torsiunii distonice idiopatice cu debut în viața adultă. Conceptul de distonie focală a adultului poate fi extins și la alte entități rare.

Blefarospasmul și distonia oromandibulară sunt în strânsă relație.



Marsden (1976 b) prezintă astfel de cazuri, care ilustrează răspândirea distoniei de la ochi, gură maxilar și gât, trunchi și musculatura respiratorie. Astfel de cazuri ilustrează faptul că blefarospasmul idiopatic și distonia oromandibulară constituie exemple de torsiune distonică segmentară. Un alt fapt care pledează în favoarea asocierii acestor sindroame îl constituie observația potrivit căreia la unii pacienți apare un tremur similar celui benign esențial sau celui familial.

Distonia laringo-faringiană progresează și ea uneori către distonia oromandibulară. Astfel, spasmul distonic faringian sau laringian, care produce disfonie sau disfagie, poate evolua către blefarospasm sau distonie oromandibulară.

Spasmul laringian sau faringian, care apare în timpul vorbitului sau înghițitului, este o distonie tipică analoagă celei care are loc în membrele pacienților cu torsiune distonică idiopatică, constituind astfel o manifestare a torsiunii distonice. La unii din acești pacienți apare și un spasm distonic al mușchilor respiratori intercostali sau al diafragmei, ducând la sughiț distonic sau ticuri respiratorii. Mușchii cei mai comun interesați în blefarospasm și în sindromul oromandibular sunt cei care pot fi afectați în „mioclonusul palatal” și anume mușchii faciali, mandibulari, linguali, laringieni, intercostali și diafragmatici.

Crampa distonică a scriitorului și crampa simplă a scriitorului sunt tulburări cu manifestare intermitentă și situațională. Marsden (1976 b) face distincție între aceste două forme, deoarece la prima și alte acte în afară de scris provoacă acest spasm de postură, pe când la simpla crampă a scriitorului numai scrisul este implicat, celelalte activități manuale fiind normale. Dar simpla crampă a scriitorului poate fi o expresie minoră a crampei distonice a scriitorului, deoarece prima poate evolua către forma a doua. O situație analogă poate apărea și la picioare, având aspectul unei flexiuni și inversiuni plantare în timpul mersului.

Alte forme de crampe ocupaționale sunt cele ale violonistului, pianistului, toboșarului, vopsitorului, dactilografei etc. Toate acestea duc la o scădere a performanțelor profesionale și la depresiune. Mulți dintre acești pacienți își schimbă profesia, fiind copleșiți de inabilitatea lor de a-și menține performanțele la nivelul dorit. Incidența crescută a tremurului postural la cei cu astfel de crampe reîntărește punctul de vedere, după care aceste tulburări sunt manifestări ale distoniei de torsiune.

Torticolisul spasmodic izolat este tot o manifestare locală a torsiunii distonice. Couch (1976), urmărind o serie de 30 cazuri aproximativ 10 ani după apariția sindromului inițial, a constatat că la 24 distonia s-a extins la umeri, brațe, trunchi etc. Intensitatea distoniei adiționale crește semnificativ o dată cu severitatea torticolisului.

Spasmul facial a fost prezent la 50% din acești pacienți.

Couch (1976) a atras atenția asupra înaltei incidențe a tremurului postural la pacienții cu torticolis spasmodic. La 16 din 30 de cazuri a existat în antecedente un tremur familial. Tremurul este o caracteristică comună a unui mare număr de

pacienți cu torsiune distonică, precum și o caracteristică familială. Astfel de tremur poate fi o formă frustă, izolată a bolii care afectează unele familii (Marsden și colab., 1975). Cauza tremurului benign esențial și familial este necunoscută, deoarece nu s-a identificat nici o bază patologică.

Torticolisul spasmodic este una din formele greu tratabile. Astfel, s-a făcut uz de terapie fizică (guler, manipulări diverse, tracțiuni etc) însă fără rezultat. Ca terapie medicamentoasă s-au întrebuințat diazepamul (Valium), L-DOPA, clordiazepoxide (Librium, Symmetrel), haloperidol, trihexilfahidil (Artane), carbamazepina (Tegretol), dantrolin (Dantrium)

Cel mai eficace pare să fie diazepamul, probabil prin efectul său tranchilizant.

La 44% din pacienți dozele mici de alcool au avut efect favorabil.

Acupunctura și iontoforeza dau rezultate variabile.

Korein și Brudny (1976) au introdus ca metodă de tratament, autoinducerea feedbackului senzorial prin care, cu ajutorul controlului senzorial al „stimulilor-feedback“ auditivi și vizuali, se reflectă instantaneu rata, intensitatea și cursul contracției mușchilor interesați.

Corectarea se face în funcție de acești factori. După părerea autorilor citați, aceasta metodă este de preferat până când o altă terapie medicamentoasă sau chirurgicală va da rezultate mai bune.

Secționarea rădăcinilor anterioare și a nervilor accesorii, urmată, după caz, de secționarea spinalului la gât și a mușchului trapez sau sterno-cleido-mastoidian au dat rezultate destul de bune în clinica noastră. În cazul distoniilor mai extinse, la care în afara sterno-cleido-mastoidianului sunt interesați și mușchii trapez, cervicali, paravertebrali, pectorali, abdominali și toraco-lombari, rezultatele sunt insuficiente. În astfel de cazuri chirurgia talamică bilaterală asupra nucleului ventro-lateral, centro-medial sau pulvinar ameliorează simptomatologia, abolește manifestările distonice și restaurează un mers normal.

Factorii care contribuie la înrăutățirea rezultatelor terapeutice sunt infecțiile respiratorii, gripa, leucemia și sindromul mintal organic. De cele mai multe ori, evoluția torticolisului este pusă pe seama durerii musculare, care apare secundar modificărilor osteoartrite și interesării rădăcinilor cervicale. Marea majoritate a acestor pacienți au scolioză.

Factorii psihici constituiți din traume acute emoționale sau factori emoționali cronici, care pun pacientul în imposibilitatea de a se relaxa, sunt o piedică în obținerea rezultatelor sau în menținerea acestora.

Din acuza stării de tensiune spasticitatea musculară nu poate scădea.

Deci, stresul emoțional constituie factorul major care duce la creșterea involuntară a contracției musculare. Oboseala, efortul și emoția pot oricând agrava condiția pacientului. La toți acești bolnavi contractura musculară cedează în somn sau când starea de conștiență este scăzută. Având în vedere cele menționate mai sus, ne putem ușor da seama de ce prin psihoterapie se poate ajunge la rezultate satisfăcătoare.



## *SUBSTANȚA ALBĂ*

Masa de substanță albă ocupă partea centrală a hemisferelor cerebrale, separând scoarța de nucleii bazali. Pe o secțiune hemisferică orizontală făcută la 1,25cm deasupra corpului calos, substanța albă centrală apare ca o arie ovală înconjurată de pliurile laminei substanței cenușii.

Transsecțiunea efectuată la nivelul corpului calos relevă continuitatea substanței albe din cele două părți și existența fibrelor nervoase de diferite dimensiuni susținute de nevroglie. După traiect și conexiuni aceste fibre se împart în trei grupe principale: 1) fibre comisurale; 2) fibre de asociație; 3) fibre de proiecție.

### **FIBRELE COMISURALE**

Fibrele comisurale asigură legătura anatomică și funcțională a celor două hemisfere cerebrale, făcând posibilă coordonarea activității lor integrativ-reflexe. Acestea se grupează în patru fascicule mari: corpul calos, comisura anterioară, comisura posterioară și comisura hipocampului.

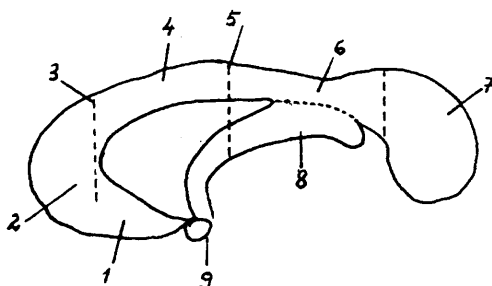
### **Corpul calos**

Corpul calos (marea comisură transversă a creierului) conectează cele două hemisfere și formează tavanul ventriculilor laterali. Lungimea sa anteroposterioară măsurată pe o linie orizontală pe care se proiectează punctul cel mai anterior și cel mai posterior, este de 96mm la bărbați și 98mm la femei (Velut și colab. 1998). Corpul calos are numeroase variații morfologice, segmentare, de curbura și de grosime care după unii autori sunt în raport cu sexul și cu dominanța hemisferică. Capătul anterior se află la 4 cm de polul frontal, iar capătul posterior se găsește la 6 cm de polul occipital. În configurația sa, sub formă de arc (fig. 82), se disting cinci porțiuni: rostrumul, genunchiul, corpul sau trunchiul, istmul și spleniumul.

Rostrumul reprezintă partea cea mai anterioară, care se curbează în jos. El se continuă posterior printr-o lamă de substanță albă, de grosime variabilă, orizontală și ușor descendentă, sub formă de cioc, ce se unește cu marginea superioară a comisurii albe anterioare.

Extremitatea posterioară ascuțită a rostrumului se interpune între aria subcaloasă în jos și septum pelucidum în sus. Prin urmare, prelungirea posterioară a acestei lame albe separată de aria subcaloasă prin șanțul paraolfactiv posterior se insinuează deasupra girusului paraterminal, care acoperă nucleii septali (Velut și colab., 1998).

Anterior rostrumului se găsește genunchiul corpului calos, un burelet cu marcată convexitate anterioară. Separarea artificială a genunchiului de rostrum și



**Fig. 82.** Aspectul corpului calos pe secțiune sagitală

1. Rostrum; 2. Genunchiul corpului calos; 3. Linia care separă genunchiul de corp (trunchi); 4. Trunchiul (corpul) corpului calos; 5. Linia care unește punctul situat la 5 cm anterior de șanțul central cu marginea superioară a foramenului intraventricular; 6. Istmul corpului calos; 7. Splenium; 8. Fornix; 9. Comisura anterioară.

de corp se face printr-o linie verticală, care trece prin partea cea mai posterioară a genunchiului. Genunchiul este interpus între septum pellucidum, inserat pe linia mediană posterioară, și girus cinguli situat anterior. Inserția septumului pellucidum este frecvent dedublată (83% după Winkler și colab., 1997) realizând un septum dublu și un cavum septal.

Fața convexă a corpului calos este separată pe toată lungimea sa de girusul cingular printr-un șanț calos profund.

Trunchiul (corpul) corpului calos se prelungește posterior genunchiului.

Rectangular sau convex în sus, axul său mare este orizontal sau ușor ascendent antero-posterior. După Winkler (1997), grosimea medie a corpului calos este de 6,12 mm cu variații între 4 și 8 mm. Corpul (trunchiul) este interpus între girusul cingular (de care este separat prin șanțul calos) în sus și septum pellucidum în jos.

Pe suprafața superioară se găsesc două mănunchiuri de fibre, care formează striile longitudinale medială și laterală. Prima este mai bine identificată. Ea trece de o parte și de alta a liniei mediane, aderând la suprafața corpului calos. Stria longitudinală laterală este mai dificil de identificat prin faptul că este situată în profunzimea șanțului calos și este marcată printr-un mic relief situat între fața inferioară a girusului cingular și fața superioară a corpului calos.

Între aceste două strii, suprafața plată a corpului calos este acoperită cu o lamă de substanță cenușie numită indusium griseum.

Anterior, aceasta trece în jurul genunchiului și rostrului petru a ajunge în girusul paraterminal. Inferior se continuă cu banda diagonală a lui Broca și prin intermediul acesteia cu substanța perforată anterioară și aria periamigdaloidă. Posterior părăsește suprafața spleniumului corpului calos, după care se prelungește prin girusul subsplenic și apoi prin girusul fasciolar în formațiunea hipocampică între fimbria în sus și girusul dințat în jos. Originea și structura striilor longitudinale medială și laterală sunt incerte (Duvernoy, 1998).

Ele sunt considerate ca fibre aberante ale fornixului (stria medulară se unește cu fasciola cinerea, extensie posterioară a girusului dințat, iar stria laterală se unește cu girusul fasciolar).



Istmul corpului calos este situat în partea posterioară a corpului.

Anterior este mai subțire decât corpul, iar posterior se lărgeste, de unde și numele său.

După Witelson (1989) limita anterioară este dată de linia verticală, care trece prin joncțiunea celor 2/3 anterioare cu 1/3 posterioară a corpului calos, iar limita posterioară este dată de o altă linie verticală situată între cele 4/5 anterioare și 1/5 posterioară a corpului calos. După Velut și colab. (1998) limita anterioară corespunde punctului de adeziune cu fornixul, iar limita posterioară este dată de linia verticală, care trece prin fața anterioară a spleniumului. Particularitatea cea mai marcantă a istmului o reprezintă adeziunea sa la fața superioară a corpului fornixului. Această aderență a corpului calos la fornix creează riscul secționării comisurii interhipocampice a fornixului în timpul callosotomiei posterioare joase. Pentru Winkler și colab. (1997) distanța dintre linia M (linia care unește un punct situat la 5cm anterior de șanțul central cu marginea superioară a foramenului interventricular) și punctul cel mai anterior de adeziune a corpului calos la fornix variază între 10 și 40 mm (media este de 23,79mm). Trebuie de asemenea notat că lungimea antero-posterioară a acestei adeziuni este foarte variabilă, maxima depășind 10mm.

În fine, Winkler (1997) subliniază că separarea corpului calos de fornix este foarte ușoară în 77% din cazuri și dificilă sau imposibilă în rest. Aceste variații subliniază importanța analizei IMR înaintea oricărei callosotomii.

Spleniumul este porțiunea cea mai posterioară a corpului calos, care închide „C-ul calos”.

Contrar restului corpului calos ascuns între cele două hemisfere, spleniumul emerge în cisterna ambientală sau lacul cerebelos superior circumscris posterior de joncțiunea falco-tentorială. Spleniumul formează un burelet a cărui convexitate inferioară constituie limita superioară a acestei cisterne. Limita anterioară este dată de corpul pineal medial și de pulvinarul lateral, iar în jos și înainte se află tectumul mezencefalic. În jos, cisterna este limitată de culmenul vermisului, iar posterior de marginea liberă a cortului cerebelos, care se curbează în sus și intern pentru a se uni cu marginea liberă a coasei creierului. Această joncțiune falco-tentorială formează triunghiul de origine al sinusului drept. La acest nivel girusul cingular, care se mulează pe partea posterioară a spleniumului se subțiază constituind istmul. Acest istm se depărtează de linia mediană și se prelungește anterior cu girusul parahipocampic.

Girusul subplenial, înfundat între istm și splenium, se prelungește cu girusul fasciolar. Deasupra și înaintea bureletului splenial, corpul fornixului se etalează conținând posterior fibrele interhipocampice ale comisurii sale numită psalterium. Lateral, fiecare margine laterală a acestui corp se prelungește prin crucea fornixului, care devine fimbria ce se rulează în jurul pulvinarului. Apoi, fimbria se etalează deasupra girusului fasciolar și se îndepărtează de splenium, care rămâne mai sus.

## Fibrele caloase

Fibrele nervoase ale corpului calos radiază în substanța albă a fiecărei hemisfere, după care se dispersează în cortexul cerebral.

Disecția extremității posterioare a rostrumului nu permite identificarea unor fibre comisurale, dar țesutul alb median se unește posterior cu comisura anterioară (Velut și colab., 1998).

Lateral, fibrele rostrumului se confundă cu fibrele laterale ale comisurii anterioare situate posterior și fac o curbură lejeră cu concavitatea posterior. Fibrele cele mai posterioare ale rostrumului trec anterior pe sub putamen, iar intern de acestea se situează nucleul accumbens, pelungire inferioară și laterală a capului nucleului caudat (Nieuwenhuys și Meek., 1990).

Fibrele genunchiului desenează perfect o potcoavă cu concavitatea anterior, ansamblu care a fost numit forceps minor. Fibrele inferioare ale acestui forceps se etalează deasupra girusului rectus. Acestea sunt fibre care provin din partea ventrală și mediană a cortexului prefrontal, ce traversează rostrumul și partea ventrală a genunchiului corpului calos (Habib și Pelletier, 1994; Pandya și Seltzer, 1996).

Fibrele care provin din cortexul prefrontal dorso-lateral sunt situate în partea dorsală a genunchiului corpului calos. Fibrele genunchiului sunt arcuite de fibrele cingulare cu direcție sagitală, care merg pe sub cortexul girusului cu același nume. Aceste fibre cingulare sunt conectate posterior cu nucleii septali. Și fibrele corpului calos sunt arcuite de fibrele cingulare. Lateral, fibrele caloase se împrăstie în substanța albă, descriind o curbură cu concavitatea superior, care este cu atât mai marcată cu cât ele se situează mai spre versantul dorsal al corpului calos. În sânul acestei substanțe albe ele încrucișează fibrele coroanei radiate, realizând după Klingler (1956) o linie de decusație, arcuată, sagitală pe care Velut și colab. (1998) nu au pus-o în evidență. Într-adevăr, fibrele coloase și ale coroanei radiate se orientează astfel încât ele se încrucișează în unghi ascuțit, făcând dificilă identificarea lor. Fibrele coloanei radiate se condensează mai jos în capsula internă, iar unghiul de racordare al fibrelor caloase cu cele ale coloanei radiate, situat imediat deasupra corpului nucleului caudat, formează sub stratul subependimar, marginea laterală a corpului ventriculului lateral (Velut și colab., 1998).

Fibrele jumătății anterioare a corpului calos conectează cortexul premotor dorso-lateral și aria motrice suplimentară mediană. Partea mijlocie a corpului conectează ariile motrice primare M1, insula și cortexul cingular anterior (Pandya și Seltzer, 1986; Habib și Pelletier, 1994). Mai posterior, ariile caloase conectează ariile somestezice S1 și S2. Partea posterioară a corpului conectează cortexul asociativ parietal, iar mai posterior ariile temporale superioare (inclusiv ariile auditive), insula și cingulum posterior. Ariile M1, S1, S2 legate de picior și mână nu sunt conectate.

Fibrele spleniumului formează o concavitate posterioară mai largă decât cea a genunchiului denumită forceps major. În afară și la distanță de linia mediană,



splenumul este arcuit de istmul girusului cingulat. Fibrele din partea superioară a spleniumului conectează cortexul temporal inferior și girusul parahipocampic, iar anterior (și superior) fibrele conectează lobulii parietali superiori și regiunea juxtastriată (Pandya și Seltzer, 1986; Habib și Pelletier, 1994).

Disecarea fibrelor spleniumului arată într-adevăr că fibrele inferioare situate în bureletul splenial se duc către regiunile striate formând forcepsul major. Ariile 17 nu sunt conectate. Cu cât aceste fibre se situează mai posterior în splenium, cu atât ele se află mai aproape de linia mediană a lobului occipital. Fibrele spleniale superioare se duc către regiunile occipito-temporale și temporale (Velut și colab., 1998). Această evazare a fibrelor spleniale formează tapetum.

Inițial, fibrele se situează pe acoperișul atriumului ventricular după care formează un evantai alungit dinapoi înainte, efilându-se anterior sub peretele ependimar lateral al atriumului și al cornului inferior al ventriculului lateral. Astfel, tapetum se interpune între acest ependim și radiațiile optice.

Pentru descoperirea radiațiilor optice la nivelul acoperișului cornului inferior al ventriculului lateral este necesar a face ablația fibrelor tapetumului. În fine, fibrele cele mai anterioare ale tapetumului anterior sunt în raport cu coada nucleului caudat situată deasupra striei terminale.

Prin urmare, la om diferitele porțiuni ale corpului calos descrise pe secțiune sagitală mediană sunt: rostrumul, genunchiul, corpul, istmul și spleniumul.

Metoda lui Klingler permite disecarea fibrelor din fiecare din aceste porțiuni și stabilirea raporturilor lor cu coroana radiată și cu radiațiile optice. În fine, fiecare segment al corpului calos ia parte la constituirea pereților ventriculului lateral.

În ciuda dimensiunii și a enormului număr de fibre comisurale, informațiile cu privire la rolul funcțional al corpului calos sunt limitate. La om numărul total de fibre este de aproximativ 200 milioane. Totuși, aici ne lipsesc analizele detaliate cu privire la conexiunile caloase ale multor regiuni. Primele investigații au fost făcute pe aria vizuală.

Ariile somatice și senzitive sunt conectate cu cele contralaterale, dar aria dreaptă și cea stângă legate de mână și picior sunt lipsite de conexiuni calosale comisurale (Powell, 1981).

Acum este bine definit faptul că între cortexul vizual al celor două hemisfere există conexiuni caloase numai pentru reprezentarea meridianului vertical (sau câmp vizual) al retinei.

Se poate afirma că ariile corticale conectate sunt în legătură cu o regiune retiniană medie, foarte îngustă, din care celulele ganglionare trimit axoni ce se ramifică și dau colaterale în tractul optic din ambele părți. Legăturile comisurale sunt specifice prin faptul că ele unesc unități columnare corticale într-o funcție bilaterală.

### **Funcțiile și clinica corpului calos**

Descrierea acestei structuri a fost făcută de Galen în secolul al doilea înainte de Christos, dar ipoteza implicării sale în conectarea funcțională a celor două

hemisfere datează din 1543 și aparține lui Vesalius. Totuși, în 1739, corpul calos era considerat de La Peyronie ca fiind sediul sufletului (Brion și Jedynak, 1975).

În 1892, Déjerine a descris o alexie asociată cu hemianopsie omonimă dreaptă la un pacient care prezenta o leziune a splenium-ului și a lobului lingual. Déjerine susținea că leziunea splenium-ului ar fi avut ca efect deconectarea zonelor limbajului situate în hemisfera stângă de ariile corticale intacte din hemisfera dreaptă, de unde imposibilitatea pentru pacient de a decoda stimulii vizuali verbali (Brion și Jedynak, 1975). Acest raționament a fost confirmat ulterior de Trescher și Ford (1937 și Maspes (1948).

Lassonde și colab. (1996) arată că prima descriere veritabilă a unui sindrom calos a fost făcută de Raymond în 1893.

La om evidențierea multor simptome caloase a fost făcută la bolnavii cu tumori, boli degenerative, leziuni vasculare parțiale și agenție a corpului calos (acaloși). Studiul pacienților epileptici, la care s-a efectuat în scop terapeutic o comisuratomie (caloasă, anterioară, hipocampică) sau o calosotomie (secționarea corpului calos) a permis descrierea principalelor componente ale sindromului de deconexiune caloasă.

## Sindromul de deconexiune

Majoritatea cunoștințelor noastre legate de funcția caloasă provin din studiul subiecților adulți care au suferit leziuni spontane sau chirurgicale ale corpului calos (CC). Clasic, sindromul de deconexiune interhemisferică sau sindromul calos cuprinde un ansamblu de simptome de complexitate variabilă în care putem include defecte de transfer al unei informații senzoriale elementare organizate simetric în cele două hemisfere, afectări ale funcțiilor cognitive elaborate (limbaj, praxii) pentru care un hemisfer este mai mult sau mai puțin exclusiv specializat și chiar simptome psihice cu alură disociativă.

Pacienții cu creierul divizat (split-brain) operați de Akelaitis (1943 și 1944) și Bogen și Vogel (1962) pentru epilepsie rebelă au fost examinați de Sperry și colab. (1969) și Sperry (1986). Astfel, cu excepția unor fenomene postoperatorii tranzitorii observate doar la unii dintre bolnavi (mutism, hemiapraxie stângă etc.), pacienții respectivi nu păreau să se deosebească în vreun fel de cei neoperați. Totuși, când acești bolnavi au fost supuși unor teste psihologice adecvate, ei au prezentat semne și simptome particulare grupate ulterior sub denumirea de „sindrom de deconexiune caloasă”, (Bogen și Gazzaniga, 1965; Gazzaniga, 1970; Hécaen și Assal, 1973; Ledoux și Gazzaniga, 1978; Bogen, 1985; Sperry, 1986).

Semnele de deconexiune caloasă sunt bazate pe principiul specializării emisferei stângi în comportamentul verbal și al emisferei drepte în abilitățile video-perceptuale și spațiale. Comunicarea dintre cele două hemisfere se bazează pe înscrierea, în fiecare dintre ele, a informației senzoriale sau motorii vehiculate de comisura caloasă, sau, în anumite cazuri, pe transportul bilateral al informației.



Semnele de deconexiune pot fi observate când comisura caloasă este secționată, iar informația motorie sau senzorială este limitată la o singură hemisferă (Lassonde și colab., 1996).

Examinarea sindromului de deconexiune caloasă depinde și de vârsta la care este făcută calosotomia. După Pitito și Lepore (1983), calosotomia făcută la animale înainte de terminarea mielinizării corpului calos permite realizarea unui transfer vizual interhemisferic, cel puțin parțial. După terminarea mielinizării nu se poate face nici un fel de transfer. La pisică, perioada de mielinizare a fibrelor caloase începe în jurul vârstei de 28 de zile (Ellberger, 1982), iar la om se întinde până la finele celui de-al zecelea an de existență (Yakovlev și Lecours, 1967). Din acest motiv, calosotomia efectuată înaintea vârstei de 10 ani ar trebui să rămână aproape asimptomatică. Testările de transfer la copiii cărora le-a fost efectuată calosotomia înaintea vârstei de 10 ani nu au relevat decât deficite minime sau deloc (Geoffroy și colab., 1983 și 1986; Lassonde și colab., 1986). Timpul de reacție, mult mai lung decât la persoanele normale, confirmă la acești subiecți limitele mecanismelor de compensare. (Sauerwin și colab., 1983; Lassonde și colab 1992 și 1996).

Comisurotomia făcută între 10 și 15 ani provoacă, cu un grad mai mic de severitate, semne de deconexiune caloasă (apraxie ideomotorie, anomie unilaterală etc.) asemănătoare celor de la adulți. Este posibil ca această atenuare să aibă la bază anumite forme de plasticitate, care determină o reorganizare cerebrală, a cărei calitate și eficacitate depinde de precocitatea leziunii (Lassonde și colab., 1996).

În legătură cu aspectele diferite ale sindromului de deconexiune interhemisferică de la copii, tineri și adulți Ramackers și Nijokiktjen (1991) au emis conceptul de dezvoltare a acestuia.

Copiii tineri pot fi considerați ca subiecți cu split-brain fiziologic. În prima decadă, capacitățile de transfer a informației tactile sunt limitate, dar ele cresc odată cu vârsta (Quinn și Geffen, 1986).

Dispariția sindromului de deconexiune fiziologică este un fenomen ontogenetic (Galin și colab, 1977) ce corespunde gradului de mielinizare (Pitito și Lepore, 1983). De aici și ipoteza unei disfuncții a CC la unii subiecți dislexici (Ramackers și Nijokiktjen, 1991). Acest fenomen de plasticitate de la subiecții fără CC sau calosotomizați precoce a fost pus în legătură cu perioada critică a dezvoltării ce coincide cu hiperproducția sinaptică (Hommet și Billard, 1998). Oricum, relația exactă între malformația caloasă și disfuncția interhemisferică în patologia dezvoltării este suspectată fără a fi încă demonstrată.

Noi am efectuat calosotomii (fig 83) la patru bolnavi cu crize comițiale frecvente, a căror vârstă a fost de 17, 19, 25 și 27 de ani.

După operație am obținut remisiuni de 8-43 de luni și reducerea numărului și a gravității crizelor epileptice. Examenul neurologic de rutină nu a înregistrat nici o modificare semnificativă a mersului, a ortostațiunii, a reflexelor miotatice și cutanate, a nervilor cranieni, a văzului, a auzului și a olfacției, iar mișcările extraoculare, ale feței, ale limbii, ale mandibulei și ale fiecărui membru au fost

normale. În schimb, a fost afectată coordonarea mâinilor, atunci când ordinul care trebuia efectuat bimanual se realiza fără participarea văzului.



**Fig. 83.** Control pneumoencefalografic după calosotomie efectuată la un bolnav epileptic. Clipurile de control au fost fixate în scopul de a se vedea locul și întinderea calosotomiei. Rezultatele postoperatorii au fost foarte bune.

La examenul psihologic s-au pus în evidență elemente discrete de agrafie unilaterală stângă, apraxie constructivă unilaterală dreaptă, anomie tactilă a mâinii stângi, tulburări în denumirea obiectelor prezentate în hemicâmpul vizual stâng și elemente de amnezie.

În continuare vom descrie sindromul de deconexiune legat direct de ruperea comunicației dintre zonele motorii și senzoriale. Datorită încrucișării acestor căi, fiecare hemisferă exercită controlul asupra jumătății controlaterale a corpului. Eficacitatea operațională a celor două hemisfere se bazează pe transferul de informații care are loc între ele și pe integrarea lor bilaterală (Jeeves, 1990).

### **Transferul informațiilor senzoriale**

Multe studii au demonstrat că transferul informației somato-senzive necesită integritatea trunchiului CC la om (Dimond și colab. 1997, Bogen 1987). În particular, fibrele care trec prin partea posterioară a trunchiului sunt cruciale pentru realizarea sarcinilor care necesită localizarea încrucișată a unui stimul tactil. Gaffen și colab. (1985) au arătat că dacă trunchiul CC este calea obișnuită de trecerea a informațiilor senzitive, spleniumul poate întreține până la 50% din această funcție.



În fine, subiecții cu calosotomie totală păstrează posibilitatea de transfer a unei părți din această informație, probabil prin căile interhemisferice extracaloase (sau prin proiecțiile ipsilaterale ale informațiilor tactile) (Habib 1998). Absența conexiunilor caloase directe între ariile somestezice primare ale extremităților distale ale membrelor, ne face să presupunem că transferul informațiilor senzitive se realizează prin intermediul ariilor asociative bogate în conexiuni caloase, deci după o oarecare prelucrare a semnalului (Cusik și Kaas 1986).

Informațiile nociceptive și termice se transmit din sistemul spino-talamic extra-lemniscal prin căi parțial bilaterale, nefiind afectate în mod marcant de deconectarea care urmează calosotomia. În schimb, deconectarea hemisferică poate fi pusă în evidență în ceea ce privește acțiunile tactile de finețe, precum și în cazul celor care necesită o explorare activă (stereognozie, recunoașterea caracterelor fizice ale stimulilor, localizarea zonelor de atingere) (Lassonde și colab. 1996).

Un pacient dreptaci cu „split-brain“ nu poate să denumească, fără controlul vederii, un obiect familiar (lingură, foarfecă, creion, cheie etc.) pe care îl pipăie cu mâna stângă, dar după numeroase manipulări el poate furniza indici privind caracterul nociceptiv al vârfului foarfecelui, aspectul termic (metal rece), greutatea și alte însușiri care ajută la identificarea obiectului.

Utilizarea acestor indicii, denumită „cross-cueing“ sau indicare încrucișată, este foarte obișnuită la pacienții cu calosotomie, care încearcă, conștient sau nu, să compenseze deficitele pe care le prezintă (Lassonde și colab. 1996).

Gazzaniga și colab. (1962), Brion și Jedinak (1975) și Mc Keever și colab. (1981) au descris pe larg această anomie, dar trebuie precizat faptul că anomia unilaterală stângă nu poate fi atribuită astereognoziei, deoarece pacientul poate să aleagă dintr-un ansamblu de stimuli pe acela care este perceput cu mâna stângă.

Nici nu este vorba de afazie, deoarece numește corect aceste obiecte cu mâna dreaptă (Barbizet și Duizabo, 1985). Prin urmare, anomia tactilă stângă se datorează faptului că informațiile senzitive care permit recunoașterea unui obiect ajung la hemisfera dreaptă, dar nu pot ajunge la zona limbajului din hemisfera stângă. Anomia vizuală stângă se datorează faptului că informațiile vizuale care vin din câmpul vizual temporal stâng ajung la regiunea occipitală dreaptă, dar nu pot ajunge la zona limbajului situat în hemisfera stângă.

În sfârșit, pacientul cu creierul divizat nu poate să efectueze sarcini de comparare intermanuală.

El nu poate nici să reproducă fără să vadă, cu un braț sau cu o mână, posturile specifice imprimate membrului de partea opusă (Lassonde și colab. 1996).

După Bentin și colab (1984) și Geffen și colab (1985), unul dintre cele mai sensibile teste pentru evaluarea deconexiunii caloase este cel al localizării tactile încrucișate. El constă în imprimarea, în afara razei de vedere a pacientului, a unei ușoare presiuni asupra extremității unui deget de la mână. Cu ajutorul policelui de la aceeași mână, pacientul indică fără dificultate care dintre degete a fost stimulat. Dacă probele se repetă cu degetele de la cealaltă mână pacientul greșește în mod constant.

**Auzul.** Diverși autori au precizat locul de transfer calos al informațiilor auditive. Springer și Gazzaniga (1975) au fost primii care au raportat o extincție dihotică stângă în cazul calosotomiei parietale care a păstrat spleniumul. Musiek și Reeves (1986) au constatat că, calosotomiile totale duc la alterarea performanțelor urechii stângi la testele dihotice.

Acest fapt se explică prin întreruperea transferului informației verbale primită inițial de urechea stângă / hemisfera dreaptă. Pe de altă parte, cele două urechi devin deficitare la proba de recunoaștere a paternurilor de frecvență sonoră, fapt care sugerează că proba necesită concursul ambelor hemisfere (Habib 1998). În schimb, performanțele subiecților cu calosotomie anterioară sunt mult mai variabile, de unde concluzia că fibrele pertinente pentru transferul informației auditive se situează în jumătatea posterioară a comisurii.

Acest fapt a fost confirmat pe câteva cazuri cu leziuni parietale spontane ale CC (Damasio și colab. 1980, Degos și colab. 1987, Habib și colab. 1990).

În observațiile lui Damasio și colab. (1980) și Degos și colab. (1987) leziunea splenială nu a fost însoțită de alterarea testului de ascultare dihotic, fapt care sugerează că pasajul fibrelor intertemporale pertinente pentru transferul auditiv se situează înaintea spleniumului.

Alexander și Warren (1988) au ajuns la concluzia că pasajul interhemisferic al informațiilor auditive se află în apropierea informațiilor somatosenzoriale din partea posterioară a trunchiului, adică în regiunea istmului. Damasio și Damasio (1979), Poncet și colab. (1987) și Poncet și colab. (1990) semnalează că pentru definitivarea extincției urechii stângi este necesar ca fibrele caloase să fie atinse nu la nivelul corpului calos însuși, ci în general în interiorul hemisferei stângi. Această „extincție paradoxală”, a urechii stângi acompaniată de afazie moderată a devenit semnul clasic al lezării substanței albe profunde a hemisferului stâng, asemănătoare deaferentației senzitive sau apraxiei ideomotorii cu care se asociază (Poncet și colab. 1987).

Prin urmare, proprietățile auditive sunt bilaterale, dar fiecare stimul sonor este analizat de ambele hemisfere, datorită transferului interhemisferic prin CC. Căile controlaterale, fiind mai importante din punct de vedere al numărului de fibre pe care le conțin, predomină asupra informațiilor dirijate prin căile ipsilaterale. Cu toate acestea, pacientul cu creier divizat poate să raporteze fără dificultate stimulii verbali sau neverbali prezentați monoauricular.

Totuși, stimulii verbali percepuți de urechea dreaptă sunt analizați prioritar de regiunea temporală (lingvistică) stângă. Datorită faptului că hemisfera dreaptă are sub dependența sa muzicalitatea, materialul muzical este analizat cu mai multă ușurință de urechea stângă de unde este dirijat masiv spre regiunea temporală dreaptă.

**Vederea.** Organizarea căilor sistemului vizual face ca informațiile care provin din fiecare hemicâmp să fie transmise hemisferei opuse. În ceea ce privește transferul informațiilor vizuale, datele pledează pentru localizarea acestuia la nivelul umflăturii spleniale, regiune consacrată pasajului fibrelor interoccipitale. Secțiunile



spleniale complete sunt excepționale. Există numai câteva observații documentate cu leziuni spontane care au dus la distrucție splenială fără atingere anterioară (Damasio și colab. 1980, Degos și colab. 1987, Habib și colab. 1990). Comportamentul tipic al subiecților cu deconexiune caloasă, în cazul proiectării scurte, tahistoscopice a unui stimul semnificând o imagine, o literă, un cuvânt etc, în partea laterală a câmpului său vizual se referă doar la raportarea unei lumini sau a unui „flash” în partea stângă. Același stimul prezentat în partea dreaptă duce la recunoașterea imediată a lui.

În cazul subiecților cu diviziune cerebrală, proiectarea simultană bilaterală a stimulilor în fiecare hemicâmp vizual a permis să se observe că discriminarea acestora se face defectuos, iar imaginile nu pot fi suprapuse. Fiecare hemisferă răspunde independent la stimulul care îi este adresat (Lassonde și colab., 1996). În cazul folosirii figurilor himerice (fețe de oameni, forme etc.), constituite din două jumătăți nepereche, s-a căutat ca fiecare din elementele perechii compuse să fie proiectat într-o singură hemisferă. În aceste condiții, solicitarea unui răspuns verbal face ca subiectul să comunice numai stimulul dirijat către hemisfera stângă. Când se solicită o indicare cu mâna stângă subiectul desemnează stimulul analizat de hemisfera dreaptă (Levy și colab., 1972). Cu ajutorul acestui test este, deci, posibilă confirmarea diferențierii funcțiilor proprii celor două hemisfere.

Sperry și colab., (1969) au constatat și ei că stimulii prezentați în hemicâmpul drept controlat de hemisfera stângă pot fi citați și descriși verbal. În schimb, hemisfera dreaptă nu putea să numească nici oral și nici prin scris materialul vizual prezentat în hemicâmpul stâng.

Brion și Jedinak (1975) afirmă că secționarea comisurii caloase afectează doar verbalizarea a ceea ce este văzut în hemicâmpul stâng, deoarece se provoacă astfel o pseudoheміanopsie homonimă stângă. Subiectul poate să indice fără nici o dificultate cu mâna stângă într-un ansamblu de lucruri, acel obiect care îi este prezentat sub formă de imagine sau sub formă verbală. Eșecul mâinii drepte se datorează faptului că hemisfera stângă de care depinde nu este informată de stimularea exercitată exclusiv asupra omoloagei sale (Ledoux și Gazzaniga, 1978). Prin urmare, și la bolnavii cu calosotomie s-a demonstrat că hemisfera dreaptă are o funcție vizuospațială superioară, în timp ce hemisfera stângă utilizează în mod preferențial imageria vizuală constituită din litere.

Utilizarea informațiilor tactile pentru construirea reprezentărilor formelor abstarcte este mai bine dezvoltată la nivelul lobului parietal din hemisfera dreaptă. Și analiza informațiilor figurilor faciale nefamiliare aparține hemisferei drepte, în timp ce hemisfera stângă este mai abilă în generarea expresiilor voluntare. Totuși, mimica facială din cadrul emoțiilor spontane este rezultatul ambelor hemisfere. Prin urmare, hemisfera dreaptă și-a demonstrat superioritatea în analiza performanțelor perceptuale și spațiale, în timp ce hemisfera stângă este esențială pentru soluționarea problemelor vizuale complexe, pentru limbaj, pentru sarcini care implică deducții, generalizări și comportamente inteligente. La subiecții normali

atenția și percepția sunt integrate interhemisferic; astfel încât, în cazul calosotomiei, percepțiile vizuale și tactile rămân izolate în fiecare hemisferă. Deși subiecții pot raporta independent materialul vizual recepționat și stocat, în una din cele două hemisfere, ei nu pot face comparații între cele două hemicâmpuri deoarece percepțiile rămân izolate în fiecare hemisferă (Baynes și Gazzaniga, 1997).

Interpretarea acestor fapte corespunde noțiunii de specializare a hemisferei stângi pentru tratamentul informațiilor semnificative

În afară de tratamentul infraconștient al informațiilor sosite la hemisfera dreaptă, s-a demonstrat că subiecții calosotomizați pot transfera între cele două hemisfere mesaje legate de mișcare, luminozitate și localizare a țintelor proiectate în partea laterală a câmpului vizual (Habib, 1998). Și Sergeant (1990) a demonstrat că subiecții cu „split-brain” sunt capabili de un anumit nivel de tratament conștient, în particular semantic, al unor stimuli (cifre, expresii faciale) adresați hemisferei drepte. Se presupune că transferul acestor informații poate fi atribuit comisurilor subcorticale demonstrate la șobolani dar considerate accesorii sau inexistente la primat (Berlucchi 1990). Prin urmare, comisurile subcorticale, în particular comisura anterioară, pot întreține o parte din transferul informațional vizual aflat sub dependența spleniumului.

Un ultim punct abordat de această vastă literatură se referă la rolul probabil jucat de conexiunile caloase și în alte fenomene vizuo-oculare cum ar fi: vederea binoculară (Cynader și colab 1986) și nistagmusul opokinetic (Pasik și Pasik, 1972).

**Mirosul.** Calea olfactivă este în esență neîncrucișată, iar comunicarea interhemisferică între zonele corticale care răspund de analiza olfactivă este asigurată mai curând de comisura anterioară decât de corpul calos.

După Bouchet și Guilleret (1983), în analiza olfactivă ar putea fi implicate ariile 23 și 24 din porțiunea anterioară și posterioară a circumvoluției cingulare, ale căror fibre de comunicare interhemisferică tranzitează, cel puțin la maimuță, prin fața dorsală a corpului calos.

La om, nu s-a putut confirma acest fapt. Prin urmare, pentru această modalitate senzorială, nu au fost puse în evidență simptome de deconectare decât la pacienții la care comisurotomia includea și comisura anterioară (Risse și colab., 1978). La aceștia, mirosul prezentat nării drepte nu putea fi perceput de hemisfera dreaptă la care era transmis.

Anosmia dreaptă nu împiedica mâna stângă să regăsească, într-un ansamblu de stimuli, obiectul care a produs acea senzație (Gazzaniga și colab. 1975). Totuși, dacă mirosul perceput de nara dreaptă este neplăcut, subiectul poate să aibă o reacție de desgust, pe care însă nu o poate exprima verbal (Gordon și Sperry, 1968).

### Transferul informațiilor motrice

Observațiile de la primii pacienți cu calosotomie chirurgicală făcute de Akelaitis (1943), arată o extraordinară discreție a modificărilor neuropsihice provocate de secțiunea caloasă.



Modificarea cea mai evidentă constă din imposibilitatea realizării a două acte simultane cu fiecare mână (Gazzaniga și colab., 1967).

De fapt, corelația funcțională stabilită cel mai bine în materie de anatomie topografică a CC se referă la existența dificultăților importante de coordonare bimanuală consecutivă secțiunii jumătății anterioare a comisurii caloase.

Zaidel și Sperry (1977) au arătat că la 5-10 ani de la intervenție mai persistă o importantă alterare cantitativă și calitativă a coordonării bimanuale în sarcinile ce implică fie o mișcare alternativă rapidă a celor două mâini, fie o coordonare bimanuală complexă. Kruter și colab. (1972) au arătat, de asemenea, că în proba de tapping bimanual sincronizat sau altern, subiecții cu „split-brain” nu pot efectua sarcina decât cu prețul unei încetiniri importante a ritmului actului motor.

Pentru Preilowski (1990), care a studiat rolul fibrelor comisurale în executarea mișcărilor coordonate bimanuale, pentru realizarea acestor acte, este necesară integritatea părții anterioare a CC. Informația provenită dintr-un hemisfer trebuie transferată hemisferului controlateral sub forma schimbului interhemisferic al „descărcării corolare motrice”, rol cuvenit în mod obișnuit cortexului frontal premotor sau mai specific regiunii ariei motrice suplimentare (AMS) sau sistemului premotor medial (Goldberg 1985).

Prin intermediul genunchiului CC al părții anterioare a trunchiului, AMS este bogat conectată cu AMS controlaterală precum și cu aria motorie primară. Conexiunile dintre cele două sisteme motorii și premotorii ale CC sunt cruciale pentru realizarea actelor coordonate ale celor două membre superioare. Cu toate acestea, secțiunea caloasă totală alterează mai sever sincronizarea celor două mâini, decât secțiunea anterioară, fapt care sugerează rolul parțial compensator al regiunilor mai posterioare prin intermediul transmisiei informațiilor proprioceptive prin regiunea presplenială (Ellenberg și Sperry 1979).

Dacă o mână efectuează mișcări alternative rapide de pronație-supinație observăm, în particular la copii, tendința naturală de a efectua mișcări în oglindă cu cealaltă mână (Njiokiktjien și colab. 1986) atunci când subiectul este angajat într-o activitate bimanuală. Această tendință se regăsește de manieră mai pronunțată la subiecții cu agenezie caloasă. Dennis (1976) presupune că această tendință de efectuare a gesturilor în oglindă traduce în mare parte imaturitatea sistemelor de transfer calos.

Aici, CC are o acțiune inhibitoare care suprimă mișcările involuntare în oglindă care parazitează execuția mișcărilor bimanuale coordonate. Pentru Dennis (1976) aceste sisteme inhibitorii împrumută partea posterioară a CC. Conexiunile motrice caloase pot juca un rol important și în anumite achiziții motorii cum ar fi antrenarea unei mâini în deprinderea unei abilități motrice particulare (Habib 1998).

Prin urmare, la bolnavii cu calosotomie apar multe tulburări de deconectare interhemisferică, atunci când se solicită un răspuns monomanual. Astfel, la dreptaci scrierea cu mâna stângă dă agrafie unilaterală stângă caracterizată prin trasarea ilizibilă a literelor alfabetului, prin paragrafii și prin imposibilitatea copierii cuvintelor altfel decât sub forma caracterelor de imprimare. Aceste simptome

prezentate de mâna stângă (la dreptaci) se datorează faptului că hemisfera dreaptă este esențialmente afazică, în timp ce scrierea cu mâna dreaptă (dependentă de hemisfera stângă) este normală. În faza postoperatorie apare și apraxia ideomotorie unilaterală stângă, dar numai pentru ordine verbale (Lassonde și colab., 1996).

Hemisfera stângă, lipsită de sprijinul spațial al hemisferei drepte, devine apraxo-agnozică. Desenul sau copia unui desen care erau bine executat înainte de operație cu mâna dreaptă, devine de nerecunoscut după intervenție. Mâna stângă poate, însă, să reproducă în mod fidel desenul. În acest caz, Bogen și Gazzaniga (1965) vorbesc despre apraxie constructivă, iar Preilowski (1974) și Zaidel și Sperry (1977) despre afectarea aptitudinii de coordonare motorie bimanuală. Situația devine mai dramatică atunci când executarea sarcinii trebuie să se facă și fără sprijin vizual.

Apraxia diagnostică constituie o manifestare mai rară, dar mai spectaculară a acestei deconectări intercorticale (Brion și Jedynak, 1975; Poncet, 1983; Bogen, 1985). Exemplul citat este al unei paciente care se străduia să-și încheie bluza cu mâna dreaptă, în timp ce cu mâna stângă executa acțiunea opusă.

Acest comportament complex exprimat printr-un veritabil conflict interhemisferic apare sub efectul leziunii caloase și se datorează activității proprii și contradictorii a hemisferei drepte eliberată de controlul hemisferei stângi care este în mod normal dominantă.

Tanaka și colab (1996) au comparat cu ajutorul IMR leziunile caloase de la trei pacienți cu acest simptom și au constatat că dispraxia diagnostică apare ca urmare a unei leziuni care atinge în mod specific partea cea mai posterioară a trunchiului calos, regiune pe unde trec fibrele care unesc regiunile parietale superioare, dreaptă și stângă. Autorii ajung la concluzia că apraxia diagnostică se datorează deconexiunii dintre lobul parietal superior stâng, care este dominant pentru controlul voluntar al mișcărilor, și hemisfera dreaptă, care controlează mișcările mâinii stângi. Deși seducătoare, această ipoteză nu are pentru moment nici o confirmare (Habib 1998). Prin urmare, apraxia diagnostică este un comportament mai complex în care mâna stângă și chiar ansamblul hemicorpului stâng realizează acte elaborate care se împotrivesc voinței pacientului.

### **Transferul informațiilor complexe organizate asimetric**

Ceea ce diferențiază cel mai bine creierul uman de cel al celorlalte mamifere este funcția, în mare parte, de manieră asimetrică. Diverse funcții zise cognitive depind preponderent de o hemisferă sau de alta. Lezarea corpului calos poate împiedica accesul unei anumite funcții a hemisferului zis „minor“, la hemisferul contralateral apt a trata cel mai bine sau chiar exclusiv informația în cauză.

### **Corpul calos și limbajul**

Cea mai importantă observație făcută la pacienții cu split-brain este legată de funcția complexă a generării limbajului într-o singură hemisferă.



Apariția unui mutism tranzitor (pentru câteva zile sau luni) în perioada imediat postoperatorie, după comisurotomie, este clasică dar incomplet explicată. Pentru Boegen (1987) păstrarea intactă a spleniumului CC este suficientă pentru evitarea constituirii unei astfel de tulburări.

În cazul secționării zonei intermediare dintre genunchiul și trunchiul corpului calos, mutismul tranzitoriu s-ar datora înglobării fibrelor interhemisferice din aria cingulară 24, asociate cu mecanismele elementare ale limbajului (Ross și colab. 1984). După Reeves (1991), calosotomia anterioară provoacă o tulburare de limbaj care evocă o afazie „adinamică”, de gravitate variabilă (de la o simplă încetinire a vorbirii până la un mutism complet). Rațiunile apariției acestui tablou rămân încă necunoscute dar probabil că sunt multiple: lziuni per-operatorii asociate; fenomenul de diaschizis al hemisferului dominant pentru limbaj; dezechilibru funcțional între cele două hemisfere în raport cu întreruperea brutală a ansamblului conexiunilor corticale și cortico-subcorticale.

Reeves (1991) arată că aceste tulburări sunt asociate cu un anumit număr de simptome care evocă o disfuncție a regiunilor mediane ale cortexului frontal nedominant, manifestate prin deficit al membrului inferior stâng și grasping al mâinii stângi care evocă atingerea AMS drepte. În astfel de situații, autorul invocă un traumatism operator al regiunii frontale interne drepte. Survenirea tulburărilor disfazice durabile după calosotomie este foarte rară și discutabilă. Ferguson și colab (1985) și Spencer și colab. (1988) au raportat, după calosotomia completă, cazuri multiple de sărăcire importantă și prelungită a limbajului spontan, fără tulburări de înțelegere și de repetiție. Autorii respectivi sugerează că o astfel de tulburare survine în mod preferențial la pacienții, al căror limbaj are o programare dependentă de interacțiunea interhemisferică și o foarte mare reprezentare bilaterală. Din această cauză, înaintea oricărei comisurotomii, se impune efectuarea unui test cu amobarbital. Exceptând aceste cazuri particulare, deconexiunea caloasă este considerată ca o intervenție care nu afectează limbajul.

Totuși, la cazurile cu „split-brain”, au fost evidențiate și unele alterări foarte subtile ale vorbirii ca, de pildă, atingerea unor aspecte ale limbajului foarte elaborat sau pragmatic. Zaidel (1990) arată că, cele mai nete deficite pragmatice apar la subiecții la care hemisferul drept are un rol destul de mare în dezvoltarea limbajului. Un subiect al lui Zaidel (1990) cu „split-brain” utiliza de manieră pertinentă subtilități ale limbajului și jocuri de cuvinte, formal corecte din punct de vedere lexical și semantic. La subiecții normali, acestea se află sub dependența hemisferei drepte, ele fiind perturbate în cazul lezării ei (Hannequin și colab. 1987). Zaidel (1990) afirmă că funcțiile respective sunt sensibile la inhibiția transcaloasă.

### Corpul calos și lectura

La pacienții cu capacități verbale hemisferice drepte sunt reprezentate în hemisfera dreaptă mai mult informațiile conceptuale și semantice decât cele sintactice și fonologice. Totuși, abilitatea de discriminare a cuvintelor dintr-un șir de litere este limitată, ceea ce demonstrează că forma vizuală a cuvintelor este reprezentată în hemisfera dreaptă (Eviator și Zaidel 1991, Reuter-Lorentz și Baynes

1992, Baynes și Gazzaniga 1997). Hemisfera stângă este dominantă nu numai în vorbire ci și în posibilitatea de a face deducții, de a interpreta comportamente și emoții și de a da un sens rațional evenimentelor cu care ne confruntăm.

Mecanismele interhemisferice implicate în lectură pot fi approximate grație metodei tahiscopice.

Dacă se proiectează, pentru o scurtă perioadă de timp, un stimul vizualo-lingvistic (literă sau cuvânt) într-un câmp vizual, într-un prim timp stimulul nu ajunge decât în hemisfera controlaterală. La subiecții cu CC intact, litera sau cuvântul proiectat în stânga și perceput deci cu hemisfera dreaptă, este recunoscut imediat de circuitele hemisferice stângi însărcinate cu decodarea informației vizuo-lingvistice și transformat în limbaj oral. La subiecții cu „split-brain“, dimpotrivă, informația rămâne cantonată în hemisfera dreaptă a cărei capacitate de decodare variază după individ și după materialul de decodat, ea neputând face decât o prelucrare incompletă. Apoi, capacitatea de formulare expresivă a acestora considerată ca cvasinulă duce la incapacitatea individului de a denumi oral stimulul respectiv (Habib 1998). Această hemialexie stângă, caracteristică sindromului de deconexiune caloasă este documentată pe larg în literatură. Siditis și colab. (1981) discută cazul unui pacient cu comisurotomie în jumătatea posterioară a CC. Când stimulii semnificativi au fost proiectați în hemisfera sa dreaptă el nu-i putea denumi dar descria un fenomen de „bout de la langue“ fapt care sugerează că lezarea părții posterioare a CC este responsabilă de absența transferurilor caracteristice perceptive ale stimulului, în timp ce partea anterioară intactă este capabilă de transferul unui oarecare nivel de reprezentare semnificativă. Pe de altă parte, Sergent (1987) interpretează acest fenomen ca rezultând dintr-un transfer extracallos prin structurile subcorticale profunde sau prin trunchiul cerebral.

Unul din primele sindroame neurologice atribuite deconexiunii interhemisferice este sindromul de alexie pură (Dejerine 1982). Persoanele care suferă de alexie ca urmare a unei leziuni, cel mai adesea vasculară, a regiunii occipitale stângi, sunt incapabile de a înțelege sau citi cuvinte.

Totuși, după o perioadă de alexie totală ei le pot descifra prin strategia de silabisire (dislexie „literă cu literă,,). Mesajele care provin din hemisfera dreaptă (singura care primește informații datorită prezenței hemiamopsiei homonime drepte) sunt întrerupte prin atingerea fibrelor spleniale la nivelul pătrunderii acestora în hemisfera stângă, drept consecință a extinderii înainte și în profunzime a leziunii occipitale.

Prin urmare, absența transferului interhemisferic duce la apariția unor tulburări de limbaj legate direct de dominanța hemisferei stângi. La pacienții dreptaci cu „split brain“, deficitul se manifestă prin anomie tactilă stângă, pseudo-hemianopsie homonimă laterală stângă, apraxie ideomotorie stângă la ordine verbale și agrafie a mâinii stângi.

Potențialul lingvistic al hemisferei drepte, la bolnavul cu diviziune cerebrală, pare să fie limitat la înțelegerea verbală, auzită sau citită, dar numai pentru anumite categorii de cuvinte, iar capacitățile sale expresive sunt extrem de restrânse, dacă nu chiar inexistente (Bogen, 1985).

Analiza subiecților cu leziuni caloase constituie un model privilegiat pentru înțelegerea rolului hemisferei drepte în lectură (Michael și colab. 1996) subiect care va fi tratat în alt capitol.



## Corpul calos și aptitudinile vizual-spațiale

La pacienții cu calosotomie s-a raportat o apraxie constructivă unilaterală (Bogen și Gazzaniga 1964). Desenul făcut cu mâna stângă este neîndemânatic dar relieful și caracteristicile tridimensionale sunt conservate datorită faptului că hemisfera dreaptă este dominantă pentru tratarea datelor spațiale necesare realizării figurilor tridimensionale.

Dimpotrivă, desenul realizat cu mâna dreaptă, deși posedă un grafism corect, el pierde unele din caracteristicile sale spațiale, în particular tridimensionale, făcând dificilă identificarea sa. Prin urmare, mâna dreaptă este apraxică din cauză că hemisferul stâng izolat este incomplet pentru realizarea sarcinilor vizuo-spațiale. Locul leziunii caloase responsabil de apraxie constructivă dreaptă nu este cunoscut cu precizie. Degas și colab. (1987) și Habib (1998) presupun că informațiile hemisferice drepte necesare hemisferei stângi, ce permit mâinii drepte să realizeze sarcini vizuo-constructive, împrumută fibrele joncțiunii dintre splenium și trunchiul CC. Leziunile situate înaintea acestei regiuni nu se însoțesc de apraxie constructivă (Kazuis și Sawada 1993), iar păstrarea spleniumului nu implică survenirea ei.

## Corpul calos și activitățile praxice și grafometrice

Perturbarea anumitor activități generale care nu ating decât hemicorpul stâng ca urmare a deconexiunilor chirurgicale sau spontane, reprezintă proba cea mai evidentă a specializării hemisferei stângi în anumite funcții praxice. Reamintim că două locuri lezionale sunt capabile de a o provoca: unul interesează genunchiul CC, probabil prin deconexiunea fibrelor care leagă între ele ariile premotorii (Geschwind și Kaplan 1962), și altul mai posterior, la nivelul istmului calos, prin deconexiunea engramelor motorii hemisferice stângi (Heilman 1979). De aici reiese că putem distinge două tipuri de agrafii caloase ale mâinii stângi: una legată de întreruperea fibrelor premotorii din partea anterioară a corpului calos, caracterizată nu numai prin atingerea scrisului de mână, ci și a capacității de a bate la mașină sau de a utiliza literele mobile cu mâna stângă, și alta legată de leziunea presplenială care deconectează girusul angular stâng și care atinge numai scrisul manual. După Watson și Heiman (1983), la nivelul hemisferei stângi, la dreptaci, există două tipuri de programe sau engrame; unul verbo-motor, care controlează natura lingvistică a mesajului scris, și altul video-kinestezic care controlează aspectele grafice ce permit realizarea sa spațio-temporală. În fine, Sugishita și colab (1980) și Gersh și Damasio (1981) insistă asupra caracterului disociat al apraxiei și agrafiei caloase. În cazul lui Degos și colab. (1987) lezarea spleniumului și a pătrimii posterioare a trunchiului CC a provocat agrafie fără apraxie stângă. În cazul lui Kazui și Sawada (1993) la care leziunea a fost localizată în jumătatea posterioară a trunchiului lăsând intactă partea juxta-splenială a istmului, a apărut apraxie stângă fără agrafie. Aceste date arată că fibrele interhemisferice care permit transferul informațiilor grafice de la hemisferul stâng la hemisferul drept sunt situate în partea posterioară a trunchiului CC iar cele care controlează gestualitatea mâinii stângi sunt mai anterior.

## Corpul calos și memoria

Modificarea capacității mnemonice după calosotomie se datorează afectării proceselor de prelucrare din hemisferele izolate.

Clark și Gaffen (1989) afirmă că tulburările de memorie raportate după calosotomie se datorează lezării comisurii hipocampice. Phelps și colab. (1991) au observat după calosotomia posterioară care afectează comisura hipocampică, diminuarea evocării verbale și vizuale. În cazul secțiunii caloase anterioare memoria rămâne intactă. Memoria de recunoaștere nu este afectată de nici una din calosotomiile amintite.

Hemisfera stângă utilizează, mai mult decât hemisfera dreaptă, cunoștințele schematice generale pentru explicarea percepțiilor și experiențelor și pentru utilizarea lor în interpretarea evenimentelor. Această predilecție are un rol important în acuratețea memoriei (Baynes și Gazzaniga, 1997). Astfel, hemisferul stâng interpretează construcțiile teoretice prin asimilarea informațiilor într-un întreg comprehensibil cu ajutorul materialului verbal.

## Corpul calos și atenția

Substratul cerebral al mecanismelor atenției, ca și al altor funcții cognitive, este considerat acum ca fiind superpozabil unui ansamblu de neuroni interconectați, organizați într-o rețea distributivă din care o parte este lateralizată funcțional la hemisfera dreaptă a creierului uman (Mesulam 1990). Diverși autori au demonstrat că CC posedă un rol primordial în alocarea resurselor atenționale celor două hemisfere, astfel încât el se comportă ca un reglator capabil să distribuie energia cognitivă fiecărei hemisfere în funcție de existențele proprii fiecărei situații și fiecărei sarcini.

Pentru Levy (1985) reglarea funcției de trezire și distribuirea sa între hemisfere depinde de inhibiția reciprocă de la nivelul trunchiului cerebral și de facilitarea reciprocă de la nivelul CC.

La subiecții cu „split-brain” au fost raportate diverse perturbări atenționale atât la nivelul trezirii generale (Diamond și colab., 1987) cât și în distribuția atenției către spațiul extracorporal (Ellenberg și Sperry 1979). În modelul lui Kinsbourne (1970 și 1973) reglarea atenției presupune existența unei interacțiuni între activarea controlată a unei hemisfere de către structurile mezencefalice și relația reciproc inhibitoare sau facilitatoare efectuată prin intermediul CC. Fiecare hemisferă controlează atenția din spațiul perceptiv contralateral iar balanța activității dintre hemisfere apare ca rezultat al interacțiunii dintre activitatea sistemelor mezencefalice și jocul inhibiției/facilitate vehiculat de fibrele caloase (Habib 1998). După acest model, hemisfera cea mai competentă într-o anumită sarcină dată își mărește nivelul de activare într-o manieră specifică, în timp ce hemisfera opusă și-l scade. Prin urmare, rolul CC este esențial în asigurarea modularii acestui echilibru în funcție nu numai de caracteristicile cognitive ale sarcinii, ci și de alți factori nespecifici cum ar fi motivația, dificultatea sarcinii, sau un mijloc atențional voluntar. Un caz particular este acela a două sarcini concurente, situație în care



capacitățile de tratare a hemisferei care recepționează una din sarcini poate fi mai mult activată decât inhibată, fapt care depinde de caracteristicile sarcinii concurente (Kinsbourne 1973). Aici se relevă controlul atenției prin interacțiunea dintre hemisfere. La subiecții comisurotomizați simptomele observate sunt interpretate de Kinsbourne nu ca intrerupere a unui canal care permite pasajul unei informații, ci ca incapacitatea hemisferei neactivate de a asigura tratamentul informației pentru care ea este mai puțin specializată.

O explicație similară este furnizată de Mayer și colab (1988) la un subiect cu leziune caloasă spontană la care a apărut o extincție a mâinii stângi în sarcina de palpare dichaptică. Totuși, cu ajutorul vederii autorii au reușit să atragă atenția bolnavului și asupra mâinii stângi. Cercetătorii au ajuns la concluzia că în acest model tactilo-kinestezic, sensibilizarea deficitului de recunoaștere tactilă a mâinii stângi, prin modificarea procedurii, sugerează rolul special jucat de CC în mecanismele atenționale.

### **Corpul calos și funcțiile emoționale**

☞ Printre funcțiile cerebrale organizate asimetric, funcțiile emoționale sunt fără îndoială cele al căror substrat anatomic este foarte incert. Neuropsihologii recunosc că hemisfera dreaptă este specializată în tratamentul informațiilor de natură emoțională, atât la nivel perceptiv cât și la nivel expresiv. Relevarea, în cazul leziunilor hemisferice drepte, a tulburărilor de control emoțional (anosodiaforie, anosognozie, hemiasomatognozie, indiferență afectivă) și a tulburărilor de prozodie a limbajului reprezintă două exemple mai ilustrative.

☞ Pe creierul intact este greu să apreciem importanța CC în mecanismele de susținere a acestor funcții. La comisurotomizați, Sperry și colab (1979) au prezentat hemisferei drepte a subiecților cu „split-brain“, stimulii cu încărcătură emoțională și au observat că „aura afectivă“, adică senzația rău definită a unui eveniment afectiv se propagă imediat la hemisferul stâng, prin intermediul conexiunilor subcaloase care unesc structurile limbice, locul probabil de producere a experienței emoționale. Singurul rol atribuit până în prezent CC în acest domeniu este acela de a permite unui individ deținător al unui stimul afectiv ale cărui caracteristici sunt analizate cel mai bine de hemisferul drept, de a-i conferi o judecată cognitivă și de a-i da o semnificație verbalizată. ☞

Hoppe și Bogen (1977) și apoi Ten Houten și colab. (1986) au propus aplicarea la subiecții comisurotomizați a conceptului de alexitimie (caracterizarea unor dificultăți de verbalizare a emoțiilor prezentate pacienților psihosomatici). Gradul de facilitare sau de dificultate pe care-l întâmpină subiectul în proba de exprimare verbală a emoțiilor sale precum și bogăția sau sarcina vieții sale fantasmatică sunt înalt discriminative între subiecții normali și cei cu „split-brain“. Acest fapt sugerează apariția unui grad puternic de alexitimie după secțiunea caloasă și rolul important al CC în transferul informațiilor respective.

## Transferul interhemisferic al comportamentelor elaborate

În modelul său de conectivitate a sistemelor premotorii Goldberg (1985) sugerează că fiecare din cele două sisteme premotorii mediane (AMS și cortexul învecinat) dețin între alte funcții și pe cea a controlului volițional al mișcărilor din hemicorpul opus. În timpul leziunilor feței mediane a lobului frontal, care interesează simultan AMS și fibrele caloase autorul a observat adesea un comportament neobișnuit al hemicorpului opus leziunii, în care membrul superior are tendința de a efectua mișcări lipsite de controlul voluntar al subiectului.

Este vorba, cel mai adesea, de mișcări de atracție către o țintă vizuală având drept scop prehensia obiectelor la îndemână, comportament pe care Goldberg îl atribuie unei dependențe excesive de mediul înconjurător a cortexului motor liberat de controlul cortexului premotor median și lăsat sub unica influență a sistemului lateral (a cărui rol este acela de a controla mișcările orientate ca răspuns la stimulii din mediul înconjurător). Goldberg denumește acest comportament „semnul mâinii străine” termen care se pretează la confuzii, fapt datorită căruia Poncet și colab. (1994) îl înlocuiesc cu cel de „mână capricioasă”. Acest simptom trebuie diferențiat de comportamentul motor observat după leziunea caloasă numit apraxie diagnostică.

În practică, este important a deosebi semnul mâinii capricioase, legat de dubla atingere, frontală mediană și caloasă, care interesează mâna opusă lobului frontal lezat, de apraxia diagnostică a cărei apariție este legată numai de atingerea caloasă și care interesează în mod exclusiv membrul superior stâng (Habib, 1998).

## Fuziunea mediană

Fuziunea mediană este procesul care asigură continuitatea, dincolo de linia mediană a spațiului proprio- și exteroceptiv (Lassonde și colab., 1996). Astfel, stimulii unui hemicorp sau ai unui hemicâmp vizual excită neuronii dintr-o hemisferă, iar după traversarea liniei mediane îi excită și pe cei din hemisfera opusă, fără a se înregistra vreo discontinuitate, deoarece hemisfera a doua a fost deja pregătită să primească această informație prin intermediul corpului calos (Lepore și Guillemot, 1982; Guillemot și colab., 1987; Guillemot și colab., 1988). Majoritatea conexiunilor caloase ale regiunilor corticale motorii și somestezice din porțiunea anterioară a corpului calos sunt destinate, din punct de vedere funcțional, liniei mediane a corpului calos (trunchiului) și în mai mică măsură părților proximale ale membrelor (Manzoni și colab., 1980; McKenna și colab., 1981; Pandya și Seltzer, 1986; Innocente, 1986; Lepore și colab. 1986; Guillemot și colab., 1988).

Explorarea pragurilor sensibilității somato-senzoriale efectuată cu ajutorul testului de discriminare a două puncte arată că pragurile sunt întradevăr mai înalte



pentru regiunile corporale axiale (trunchi) atât la subiecții fără corp calos, cât și la cei calosotomizați. În cazul modalității vizuale, câmpurile receptoare ale neuronilor caloși se găsesc în apropierea meridianului vertical, pe care îl ating și pe care, uneori îl încalcă (Berlucchi, 1981; Lepore și colab., 1983).

Subiecții lipsiți de corp calos sunt incapabili să evalueze distanța dintre stimuli, atunci când trebuie să folosească indicele de paralaxă de mișcare în vederea centrală (Rivets și colab., 1996). Se pare că și celulele din cortexul auditiv primar legate prin corpul calos ar corespunde funcțional celulelor omnidirecționale implicate în analiza sunetului în partea centrală a câmpului auditiv sau în percepția sunetelor prezentate în fața subiectului (Imig și colab., 1986).

În probele de localizare a sunetelor fixe și în cele care simulează mișcarea, rezultatele au indicat o performanță inferioară la subiecții fără corp calos în comparație cu martorii, atât în ceea ce privește sunetele emise în regiunea pericentrală, cât și în cazul sunetelor emise în regiunea laterală. Aceste date nu par să sprijine ipoteza unei relații privilegiate a corpului calos cu linia mediană (Poirier și colab. 1993). În consecință, toată patologia sistemului calos ar trebui să afecteze procesul de fuziune mediană, prin faptul că participarea corpului calos la realizarea acestei fuziuni mediane este certă. Totuși, participarea respectivă este mai importantă pentru sistemele net controlateralizate (vizual și somato-senzorial lemniscal) Lepore și colab., 1994, Lassonde și colab., 1996).

### **Timpul de transfer interhemisferic**

Timpul de transfer interhemisferic, tributat integrității comisurii caloase, este mult prelungit (30-87 milisecunde) (Sergent și Myers, 1985; Di Stefano și colab., 1992) la persoanele cu comisurotomie, față de cel al subiecților normali (2,5 milisecunde) (Berlucchi și colab., 1977).

Cu ajutorul testelor simple de reacție video-motorie, s-a constatat prelungirea acestuia între 12,7 și 50,6 milisecunde și la persoanele lipsite de corp calos (Milner și Lines, 1982; Rugg și colab., 1984).

### **Specificitatea fibrelor caloase**

Leziunile localizate au permis determinarea acelor zone comisurale care joacă un rol de primă importanță în producerea fiecăruia din elementele sindromului de deconexiune caloasă (fig 84).

Comisurotomiile și calosotomiile întrerup transferul interhemisferic al mai multor tipuri de informație. Pacientul lui Geschwind și Kaplan, (1962) cu gliom frontal stâng operat și lezare accidentală a arterei cerebrale anterioare, scria la dictare normal cu mâna dreaptă, dar avea un comportament afazic al mâinii stângi. Acest bolnav nu putea nici să recunoască obiectele pe care le ținea în mâna stângă, deși putea s-o facă cu aceeași mână, atunci când era pus în fața unui grup de obiecte.

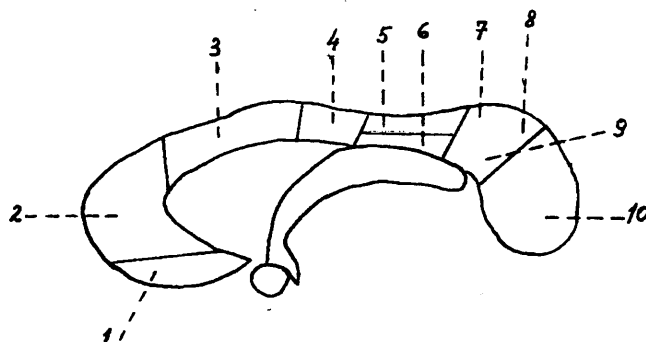


Fig. 84. Simptomele de deconesiune caloasă și locul leziunilor responsabile

1. Fibrele care traversează rostral și prin partea ventrală a genunchiului provin din regiunea ventrală și medială a cortexului prefrontal; 2. Fibrele arcuate ale genunchiului și fibrele cingulate care trec pe sub cortexul girusului cingular sunt conectate posterior cu nucleii septali; 3. Fibrele jumătății anterioare a corpului calos sunt destinate căilor fronto-frontale; lezarea lor dă apraxia mâinii stângi fără agrafie; 4. Fibrele care conectează cortexul somatosenzorial; afectarea lor dă anomie tactilă stângă; 5. Fibrele care conectează girurile supramarginale; afectarea lor dă apraxie ideomotorie stângă; 6. Fibrele care conectează cortexul temporal lateral; afectarea lor dă extincție dichotică la urechea stângă; 7. Fibrele care conectează lobul parietal superior; afectarea lor dă dispraxie diagnostică; 8. Fibrele care conectează lobul parietal superior; afectarea lor dă tulburări constructive la mâna dreaptă și anomie tactilă la mâna stângă; 9. Fibrele care conectează girusul angular; afectarea lor dă agrafie a mâinii stângi; 10. Fibrele care conectează cortexul peristriat; afectarea lor dă anomie vizuală stângă și hemialexie stângă.

Autorii au emis ipoteza (confirmată autopsic) unei leziuni a corpului calos, care nu afectează splenium-ul, dar care provoacă o întrerupere a căii caloase între centrii motori din hemisfera dreaptă, ce controlează mâna stângă și zonele limbajului situate în hemisfera stângă.

Gersh și Damasio (1981) comunică cazurile persoanelor cu apraxie, fără agrafie, a mâinii stângi ce au survenit ca urmare a secționării trunchiului corpului calos în porțiunea sa anterioară. Autorii au ajuns la concluzia că impulsurile practice folosesc căile fronto-frontale, de unde și apraxia, fără agrafie a mâinii stângi, atunci când secționarea afectează exclusiv porțiunea anterioară a trunchiului corpului calos.

În cazul secționării jumătății posterioare a trunchiului, apariția agrafiei mâinii stângi, fără apraxie asociată, se datorează faptului că impulsurile grafice tranzitează mai posterior, prin căile parietale.

Apraxia și agrafia pure ale mâinii stângi ilustrează în mod spectacular valoarea specifică a leziunilor parțiale.

Transferul interhemisferic vizual se face mai ales prin splenium, a cărui lezare dă alexie fără agrafie (Geschwind, 1965).



Pandus și Seltzer (1986) au pus în evidență, la maimuță, o cale de trecere a fibrelor interparietale situate chiar înainte de splenium (istmul corpului calos), a cărei secționare pare să fie suficientă pentru a provoca tulburări de localizare tactilă încrucișată (Volpe și colab., 1982). Acesată zonă ar fi de asemenea critică pentru transferul de informații auditive (Gazzaniga și colab., 1975).

Risse și colab. (1989) au constatat că secționarea celor două treimi anterioare ale corpului calos provoacă modificări mici sau nu dă nici o modificare. În cazul în care secțiunea anterioară se mărește apare disrupția abilității de transfer a informației senzoriale și de poziție de la o mână la alta. Dimpotrivă, secționarea splenium-ului disrupe transferul informațiilor vizuale dintre hemisfere și izolează inputurile vizuale lateralizate.

După secționarea posterioară, deși numirea stimulilor din câmpul vizual stâng nu este posibilă, pot apărea multe transferuri informaționale de ordin înalt (Sidtis și colab., 1981), precum și posibilitatea integrării informațiilor auditive și vizuale. Accidentele vasculare cerebrale care produc leziuni caloase parțiale pot da anomie tactilă și agrafie, fapt care relevă importanța fibrelor corpului calos în transferul limbajului între cele două hemisfere (Baynes și Gazzaniga, 1997). Conform datelor de mai sus, se poate trage concluzia că simptomele de deconexiune caloasă pot să varieze în funcție de sediul leziunii.

### **Agenezia corpului calos**

Ageneziile corpului calos sunt malformații frecvente: în seriile autopsice mari incidența lor este de 5,6%-26% (Jellinger și colab. 1981). Cu toate acestea, clinica și patogenia lor rămân în parte obscure.

Rohmer și colab. (1960) afirmă că, deși agenezia corpului calos a fost descrisă pentru prima dată de Reil în 1812, patogenia sa este puțin cunoscută.

Anderman și colab. (1994) și Wisniewski și Jeret (1994) susțin că factorul vârstă-gestație este important, deoarece dimensiunea malformației pare să fie în relație cu momentul în care factorii nocivi intervin în cursul dezvoltării fetale. Astfel, întreruperea dezvoltării între sfârșitul primei luni de gestație și începutul celei de-a patra luni provoacă o absență totală a tuturor comisurilor neocorticale. Întreruperea în cursul celei de-a patra luni de gestație dă naștere ageneziei corpului calos, cu păstrarea comisurii anterioare. În schimb, anomaliile de dezvoltare apărute după luna a patra determină o agenezie parțială, care afectează în special splenium-ul. După opinia lui Raknic și a lui Yakovlev (1968), în decursul dezvoltării, poate să survină doar o comisurare imperfectă și nu o veritabilă agenezie, în sensul că fibrele corpului calos sunt prezente, dar în loc să se proiecteze transversal, ele mărginesc fețele interne ale celor două hemisfere. Prin urmare, din punct de vedere anatomic agenezia corpului calos poate fi parțială sau totală, asociată sau nu cu anomalii cranio-faciale, tumorale sau constituționale (hidrocefalie, lipsa septului pelucid, microgirie etc) (Lassonde și Jeeves, 1994).

Manifestările clinice date de agenezie caloasă pot fi descoperite în mod fortuit la un pacient cu inteligență normală sau pot fi înscrise într-un sindrom polimalformativ major. Din acest motiv, diferitele tulburări psihice, debilitatea mintală, epilepsia etc., sunt legate de prezența simultană a patologiei extracaloase. Cazurile total asimptomatice descoperite doar la autopsie sunt discutabile. Totuși, mulți cercetători au încercat să verifice prezența sindromului de deconexiune, dar rezultatele au fost negative (Rohmer și colab., 1960; Jeeves, 1965; Saul și Sperra, 1968; Sauerwein și colab., 1983; Lassonde și colab., 1981 și 1984).

Absența deficitelor de deconexiune a dat naștere mai multor interpretări bazate pe utilizarea unor mecanisme compensatorii (Jeeves 1986, 1994), cum ar fi: 1) bilateralizarea funcțiilor cerebrale; 2) utilizarea strategiilor comportamentale subtile (cross-cueing), care permit hemisferei nestimulate să utilizeze indici proprioceptivi (o mișcare) derivați din răspunsul furnizat de cealaltă hemisferă și care asigură o distribuție bilaterală a informației (Gazzaniga, 1970); 3) suprautilizarea căilor de proiecție senzitive și motorii ipsilaterale, care permite fiecărei hemisfere să aibă o reprezentare bimanuală; 4) utilizarea maximă a comisurilor reziduale (anterioară și subcorticală) pentru asigurarea transferului interhemisferic.

Caracteristicile filogenetice, morfologice și funcționale ale comisurii anterioare arată că ea reprezintă singura alternativă posibilă de transfer interhemisferic în cazul ageneziei caloase. În toate situațiile în care această comisură este prezentă, ea constituie sistemul funcțional principal capabil a compensa deficitul indus de absența corpului calos (Guenot 1998). De asemenea s-a constatat că gradul anomaliilor la testele de transfer interhemisferic corelează, în caz de agenezie caloasă, cu prezența sau cu absența comisurii anterioare, care uneori poate fi hipertrofiată.

Oricare ar fi natura mecanismelor de compensare folosite de subiecții cu agenezie de corp calos, acestea nu depășesc anumite limite, deoarece comunicarea interhemisferică observată la aceste persoane este diminuată (Lassonde și colab., 1990 și 1994).

După Jeeves (1979), Sauerwein și colab. (1994), Sylver și Jeeves (1994) și Lassonde și colab., (1996), această diminuare a comunicării interhemisferice se traduce prin : încetinirea probelor motorii, care necesită coordonare bimanuală; dificultatea, adesea severă, a prehensiunii observată bine la începutul vârstei școlare; efectuarea cu încetineală a anumitor sarcini de transfer vizual și tactil; dificultatea realizării testului de localizare încrucișată a unei stimulări tactile; dificultatea transferului unimanual (Geffen și colab., 1994); deficitul de fuziune mediană observat la testul de discriminare a două puncte de stimulare tactilă (Schiavetto și colab., 1993) și de evaluare a distanței dintre stimulii vizuali (Lassonde și colab., 1982; Jeeves, 1991); și prin afectarea aptitudinii de localizare sonoră pe toată întinderea câmpului auditiv (Poirier și colab., 1993)

Probleme de analiză fonologică și deficite video-constructive au fost observate și la copii cu inteligență normală (Temple și Ilsley, 1994).



Aceste deficite observate la persoanele cu agenezie de corp calos se întâlnesc și la copii mici normali, din cauza procesului de mielinizare a corpului calos care, la aceștia, nu este încheiat (Yakovelv și Lecours, 1967). Pe măsura finalizării procesului de maturare a sistemului comisural, aceste aptitudini se ameliorează progresiv (Lassonde și colab., 1996).

## **Tumorile și bolile degenerative ale corpului calos**

Cele două grupuri principale de tumori ale corpului calos, lipoamele și gliomele, reprezintă între 1 și 5% din neoplaziile intracraniene.

Lipoamele corpului calos sunt tumori congenitale, care apar frecvent în asociere cu alte malformații caloase (hipoplazia sau agenezia corpului calos) și cu alte anomalii cerebrale (atrofie corticală, microgirie etc.). Ele provoacă puține simptome caracteristice, fapt datorită căruia, prezența acestor neoplazii este descoperită frecvent doar la autopsie.

Gliomele corpului calos (glioblastomele, oligodendrogliomele și astrocitoamele) au o simptomatologie diferită, care se poate exprima chiar din primele zile prin cefalee, crize epileptice, tulburări neurologice (afectarea nervilor cranieni, hemipareze, tulburări de mers și disfuncții ale sistemului nervos autonom) și modificări psihice (impulsivitate, apatie, dezorientare spațială sau temporală, tulburări de memorie etc.).

În acest context, când ansamblul teritoriului calos și regiunile din vecinătatea acestuia sunt invadate de procesul tumoral, apare și sindromul de deconexiune caloasă. Când invadarea corpului calos este parțială, găsim numai unele componente ale sindromului de deconexiune.

Tulburări psihice pot fi întâlnite și în boala Marchiafave-Bignani, afecțiune care constă într-o demielinizare progresivă a fibrelor comisurale, apoi și a celor corticale. Atingerea izolată a structurilor corpului calos nu se însoțește de nici un fel de simptomatologie psihică. Maladia se manifestă mai mult prin simptome de tip demențial, la fel ca sindromul de alcoolism cronic, cu care este înrudită.

## **Concluzii**

Unii autori consideră că activitatea corpului calos are un rol inhibitor (Eidelberg, 1969; Jeeves, 1986). El îi permite fiecărei hemisfere exercitarea unei acțiuni inhibitorii asupra omologului, cu scopul de a asuma controlul unei funcții date. Această inhibiție reciprocă ar evita duplicarea funcțiilor (Donenberg, 1981). Modelul inhibitor a fost propus și pentru a explica dezvoltarea dominării căilor contralaterale asupra fibrelor ipsilaterale în sistemele motorii și senzitive (Dennis, 1976).

Cu toate acestea, rolul inhibitor al corpului calos în ontogeneza specializării hemisferice nu a fost confirmat (Lassonde și colab., 1990; Jeeves, 1994).

În contextul patogenezei epilepsiei, s-a evocat adesea o acțiune facilitantă a căii caloase (Bremer, 1966; Geoffroy și colab., 1986).

Această afirmație se sprijină pe faptul că secționarea corpului calos determină nu numai abolirea propagării bilaterale, ci și reducerea sau încetarea descărcărilor epileptice în focarul inițial (Bogen și Vogel 1975; Geoffroy și colab., 1986; Lassonde și colab., 1996). Acest fapt s-ar datora potențării celulelor anormale de către influxurile din hemisfera intactă și propagării descărcărilor epileptice la hemisfera sănătoasă prin procesul de retroacțiune (Bremer, 1966 și 1967; Lassonde, 1986). Pe de altă parte, observațiile clinice lasă să se înțeleagă că la reorganizarea funcțională, care are loc după o agresiune cerebrală, corpul calos participă în mod semnificativ. Astfel, recuperarea lingvistică, observată la pacienții cu leziuni hemisferice stângi, este grav limitată dacă se produce în același timp și o atingere a corpului calos (Goldstein, 1948; Russel, 1963). Ansamblul acestor date sugerează că hemisfera intactă ar putea exercita o acțiune facilitatoare prin corpul calos asupra hemisferei lezate, pentru a asigura o mai bună funcționare a acesteia (Lassonde și colab., 1996).

În cazul bolnavilor cu leziuni unilaterale și cu simptome bilaterale, reciprocitatea facilitării transcaloase poate să împiedice buna funcționare a hemisferei intacte. Cu toate acestea, este foarte probabil că procesul normal de reglare interhemisferică depinde atât de influențele inhibitoare, cât și de cele excitatoare (Lassonde și colab., 1996). În acest context, Berlucchi (1983) susține că funcția corpului calos este aceea de a echilibra activitatea celor două hemisfere și de a permite astfel o integrare optimă a activității corticale.

Disconexiunea caloasă joacă un rol important în explicarea unor sindroame ca: apraxia membrelor, alexia pură și agrafia unilaterală.

Cele mai sistematice investigații de specializare și de integrare hemisferică au fost făcute pe pacienții cu calosotomie (split-brain patients) pentru înlăturarea epilepsiei netratabile. Studiile inițiale au confirmat afirmațiile neurologilor conform cărora, hemisferul stâng este dominant pentru limbaj în timp ce hemisferul drept nu poate denumi și nu poate descrie obiectele prezentate vizual sau tactil, deși el este capabil să performeze anumite sarcini spațio-vizuale. Experimentele care se fac duc la înțelegerea mai bună a proceselor perceptuale, cognitive, mnemonice și lingvistice și la integrarea lor într-o gândire coerentă și în comportament.

Consecințele unei leziuni caloase la adult sunt în același timp complexe și relativ discrete. La prima vedere, ele nu realizează un handicap major și sunt compatibile, în absența leziunilor hemisferice asociate, cu o viață și o activitate cotidiană normală (Habib, 1998). Apraxia ideomotorie, anomia și agrafia unilaterală stângă, apraxia constructivă dreaptă, hemialexia și alte manifestări date de deficitul de transfer informațional între hemisfere pot trece neobservate dacă nu se le cercetăm în mod specific.

Prin urmare, deși după calosotomie comportamentul este aproape neschimbat, investigațiile au relevat capacitatea fiecărei hemisfere și au confirmat ipotezele



bazate pe studierea subiecților normali precum și pe al cele bazate pe studiul pacienților cu leziuni focale.

Hemisfera dreaptă izolată nu poate citi, scrie sau vorbi deși dispune de o întreagă varietate de comportamente conștiente. Disocierea mâinii stângi de anomia tactilă și de agrafie indică capacitatea lingvistică minoră a hemisferei drepte. Abilitatea de înțelegere a limbajului vizual și auditiv poate contribui la definirea pacienților afazici și alexici. Observațiile recente arată că hemisferul drept poate participa la recuperarea afaziei pe termen lung, dar interesul cel mai mare reprezentat de studiul pacienților calosotomizați se referă la investigarea bazelor hemisferice ale cogniției și la integrarea diverselor informații perceptuale senzoriale și emoționale într-un singur plan comportamental. Funcția independentă a hemisferelor a demonstrat rolul important jucat de hemisfera stângă verbală în observarea și interpretarea acțiunilor proprii și în recunoașterea stărilor emoționale.

În privința funcțiilor emoționale, merită de remarcat faptul că, în afara alexitimiei, leziunea caloasă nu provoacă alte modificări evidente de afect și personalitate.

În totalitatea sa, sindromul calos rămâne o entitate relativ omogenă, indiferent de natura leziunii caloase.

### Comisura anterioară

Comisura anterioară este constituită dintr-un mănunchi de fibre nervoase mielinizate, care trec anterior de coloanele fornixului și se inclavează în lamina terminalis la 5-2mm deasupra chiasmei optice, luând astfel parte la formarea peretelui anterior al ventriculului trei. Diametrul său maxim este de 1,5mm. Lateral, fibrele sale se separă în două fascicule, anterior și posterior.

Fasciculul anterior, mai mic, se curbează anterior de fiecare parte a substanței perforate anterioare și a tractului olfactiv. Fasciculul posterior se curbează către posterolateral, trece printr-un șanț de pe partea anteroinferioară a nucleului lentiform, după care ajunge în partea anterioară a lobului temporal și în girusul parahipocampic. La mamifere și primate, aceste fibre comisurale interconectează următoarele structuri: 1) lobul olfactiv și nucleul olfactiv anterior; 2) substanța perforată anterioară, tuberculul olfactiv și banda diagonală a lui Broca; 3) cortexul prepiriform; 4) aria entorinală și porțiunea adiacentă a girusului parahipocampic; 5) o parte a complexului amigdaloid, în special nucleul ariei olfactive laterale; 6) nucleul pat al striei terminalis și nucleul accumbens-septi; 7) regiunea anterioară a girusului temporal inferior și mijlociu; 8) posibil și unele arii neocorticale ale lobului frontal. La om, multe conexiuni rămân necunoscute.

Unele fibre pot să nu fie comisurale, ci să aparțină decusației unor căi dintre diferitele structuri.

## Comisura posterioară

Comisura posterioară (dorsală) este reprezentată de o decusație fasciculară din partea posterioară a lamei pineale relativ redusă la primate și cu constituție necunoscută la om. Cu ea se asociază mai mulți nuclei: nucleul interstițial al comisurii posterioare, nucleul dorsal al comisurii posterioare, nucleul lui Darkschewitsch din substanța cenușie periapeductală și nucleul interstițial al lui Cajal de lângă capătul superior al complexului oculomotor. Fibrele tuturor acestor nuclei traversează comisura posterioară. La formarea acesteia mai contribuie nucleul talamic dorsal, nucleul pretectal, coliculi superiori și conexiunile dintre nucleii tectal și habenular. Desinația și funcția multora din aceste fibre rămân obscure.

Ventral și sub comisura posterioară, celulele endimale de pe aspectul dorsal al apeductului cerebral sunt înalte, columnare și ciliate. Acest organ subcomisural secretă în LCR (Mollgard și colab., 1973). Probabil că celulele sale transportă în LCR substanțe din terminalele axonale adiacente și capilare, sau transportă din LCR diferiți constituenți către neuroni, vase sanguine și pinealocite. Rolul neuroendocrin al acestui endim specializat a fost relevat de Reichlen și colab. (1978), Collins și Woolam (1981) etc. Există și alte porțiuni similare de endim, care se proiectează în ventriculul trei: organul subfrontal și organum vasculosum. Acestea precum și alte regiuni specializate din endimul ventriculului trei sunt reunite sub numele de organe circumventriculare (OCV). Collins și Woolam (1981) arată că acestea conțin trei feluri de celule: celule endimale ciliate, celule secretorii și tanicite. Ultrastructura tanicitelor variază în funcție de localizare. Pe secțiune mediană mamiferele dispun de următoarele OCV: eminența mediană, recesul infundibular, organul recesului colicular, organul recesului apeductal, organul subcomisural, endimul habenular, organul comisural habenular, organul subfrontal, organum vasculosum al lamei terminale și tuberculul intercolumnar.

Reamintim de asemenea area postrema și funiculus separans din ventriculul patru.

## Comisura hipocampului

Comisura hipocampului este formată dintr-o lamă subțire de substanță albă care unește cei doi stâlpi ai fornixului de pe suprafața inferioară a corpului calos. Fibrele transverse care provin din cele două margini ale hipocampului poartă denumirea de comisura fornixului (comisura hipocampică). Ele formează o pătură triunghiulară care împreună cu cei doi stâlpi convergenți poartă denumirea de psalterium sau liră (ambele varietăți ale harpei).

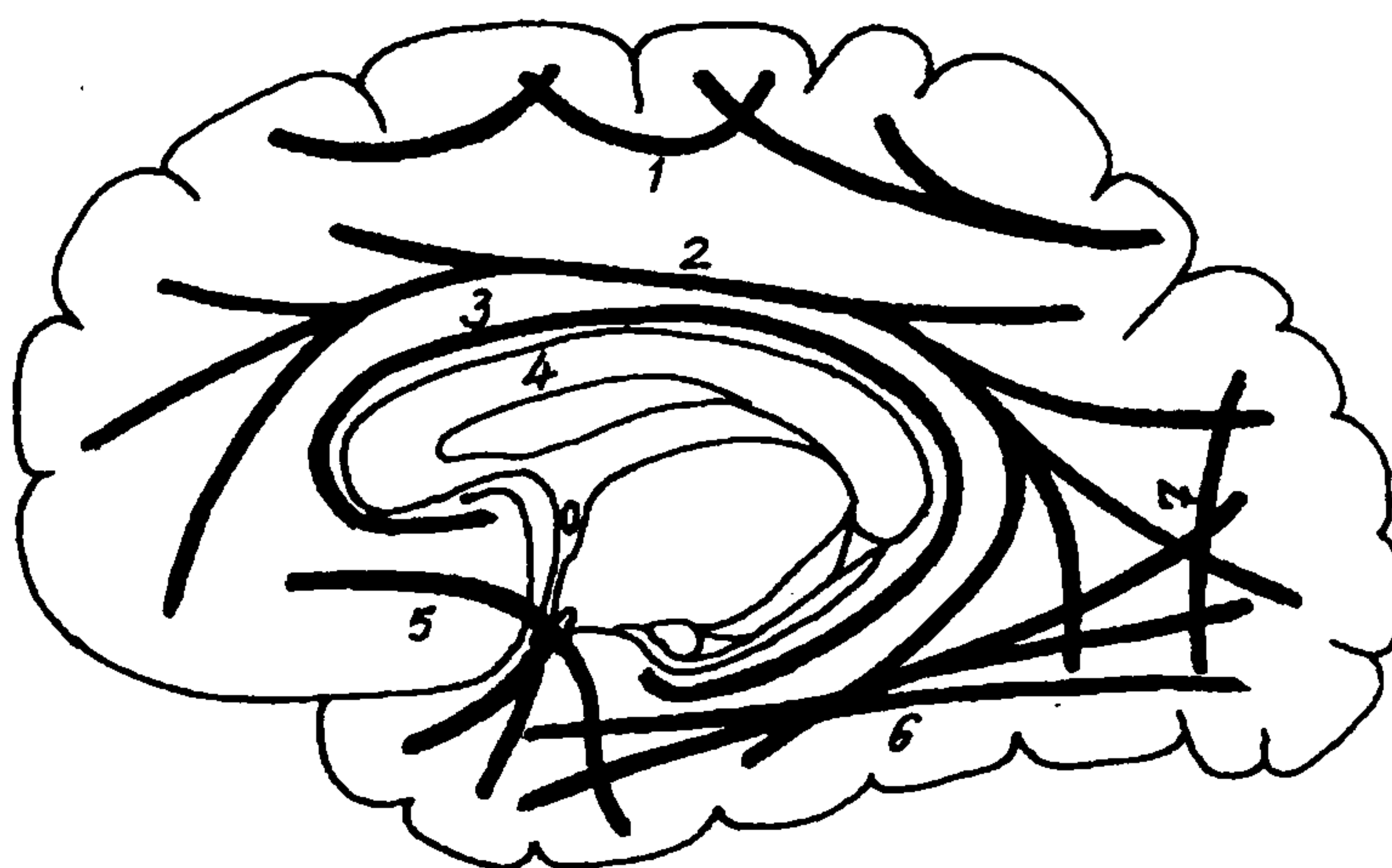
## FIBRELE DE ASOCIAȚIE

Fibrele de asociație (arcuate) asigură legătura între diferite zone ale scoarței cerebrale în cadrul uneia și aceleiași emisfere cerebrale. Ele pot fi scurte sau lungi (fig 85).



**Fig. 85.** Principalele fibre de asociație ale unui hemisfer cerebral.

1. Fibre scurte; 2. Fasciculul longitudinal superior; 3. Cingulum; 4. Corpul calos; 5. Fasciculul uncinat; 6. Fasciculul longitudinal inferior; 7. Fasciculul perpendicular.



Fibrele arcuate scurte pot fi intracorticale, subcorticale (între două circumvoluții adiacente) sau de la un perete al unui șanț la altul.

Fibrele arcuate lungi sunt grupate în fascicule, cele mai lungi fiind și cele mai profunde. Fasciculele care au putut fi individualizate cel mai bine sunt: fasciculul uncinat, cingulum, fasciculul longitudinal superior, fasciculul longitudinal inferior și fasciculul frontooccipital.

- Fasciculul uncinat conectează aria motorie a vorbirii și girusul orbital al lobului frontal cu cortexul polului temporal. Aceste fibre se află în partea antero-inferioară a insulei.

- Cingulum este un fascicul lung, care pornește din cortexul medial de sub rostrum și ajunge în girusul cinguli. Inferior intră în girusul parahipocampic, după care se răspândește în lobul temporal adiacent.

Convexitatea acestuia este neregulată din cauza grupelor de fibre care intră și ies.

- Fasciculul longitudinal superior (cel mai mare) pornește din regiunea frontală anterioară, se arcuiește către posterior, deasupra insulei și ajunge lateral la masivele fibre de proiecție corticală ale capsulei interne. Trimite fibre către cortexul occipital, (aria 18 și 19) după care se curbează în jos și înainte prin spatele ariei insulare, pentru ca în final să se termine în lobul temporal. Ca și celelalte fascicule, acesta trimite și primește fibre pe toată întinderea sa, dar acestea sunt imposibil de determinat cu metodele de care dispunem.

- Fasciculul longitudinal inferior derivă în principal din ariile 18 și 19. După ce este traversat de fasciculul longitudinal superior se distribuie în tot lobul temporal.

Fasciculul frontooccipital pornește din polul frontal, trece în spatele fasciculului longitudinal superior unde este separat de acesta de fibrele de proiecție ale coroanei radiate, ajunge în partea laterală a nucleului caudat și a ventriculului lateral după care se termină în lobii occipital și temporal.

## FIBRELE DE PROIECȚIE

Fibrele de proiecție asigură legătura zonelor corticale cu formațiunile inferioare ale SNC (corpii striati, talamusul, cerebelul, trunchiul cerebral, măduva spinării). Unele din acestea sunt de tip ascendent (centripet) și aduc la scoarță de la receptorii periferici și de la celelalte segmente subiacente informații specifice și nespecifice. Altele pornesc de la nivelul scoarței (cortico-fugale) și transmit informații de comandă și control segmentelor inferioare și, prin intermediul lor, aparatelor de execuție. Împreună aceste două tipuri de fibre alcătuiesc magistralele senzorio-motorii ale nevraxului.

Fibrele de proiecție converg din toate direcțiile către corpul striat, majoritatea (dar nu exclusiv) situându-se medial de fibrele asociative. Acestea intersectează fibrele comisurale ale corpului calos și comisura anterioară. La periferia corpului striat ele formează coroana radiată. Aspectul medial al acestora este separat de ventriculul lateral de către fasciculul frontooccipital, iar aspectul lateral este acoperit de fasciculul longitudinal superior.

### Capsula internă

Pe o secțiune cerebrală orizontală, capsula internă apare ca o bandă albă a cărei concavitate laterală este adaptată aspectului medial al convexității nucleului lentiform. Ea are un braț anterior, un genunchi și un braț posterior. Ambele brațe trec medial de nucleul lentiform (vezi fig. 80).

Medial de brațul anterior se află capul nucleului caudat, iar medial de brațul posterior se află talamusul. Pe măsură ce descind, fibrele capsulei converg astfel încât fibrele frontale tind să treacă posteromedial, iar cele temporale și occipitale anterolateral. În partea inferioară a nucleului lentiform ele sunt încrucișate de tractul optic, după care intră în mezencefal.

Brațul anterior conține fibre frontopontine care fac sinapsă cu celulele nucleilor pontini ai căror axoni intră în hemisferul cerebelos opus. Radiațiile talamice anterioare interconectează medial și anterior nucleii talamici, variații nucleii hipotalamici și diferite structuri limbice cu cortexul frontal.

Genunchiul conține fibre corticonucleare provenite în special din aria 4, care se termină în nucleii motori mari ai nervilor cranieni contralaterali. Fibrele anterioare ale radiației talamice superioare dintre talamus și cortex se extind de asemenea în genunchi.

Brațul posterior include tractul corticospinal, ce conține anterior fibrele membrului superior urmate de cele ale trunchiului și cele ale membrului inferior. Alte fibre descendente includ fasciculul frontopontin provenit în special din aria 4 și 6, fibrele corticorubrale (leagă lobul frontal de nucleul roșu) și fibrele ce leagă globus pallidus de fasciculul subtalamic. O mare parte din brațul posterior are fibre



din radiația talamică superioară (radiația somestzică), îndreptate spre girusul postcentral.

În partea retrolentiformă sunt fibrele parietopontine, occipitopontine, occipitocoliculare, occipitotectale și radiația talamică posterioară, în care sunt incluse radiația optică și interconexiunile dintre lobii parietal și occipital, precum și partea caudală a talamusului, în special pulvinarul.

Radiația optică pornește din corpul geniculat lateral, după care trece posterior prin concavitatea dintre partea cornuală centrală și inferioară a ventriculului lateral, având relații intime cu aspectul superolateral al cornului inferior al ventriculului și cu porțiunea laterală a cornului posterior, de care este separată de tapetum.

Partea sublentiformă conține fibre temporopontine, câteva fibre parietopontine și radiațiile acustice ale corpului geniculat medial, care ajung la circumvoluția temporală transversă (aria 41 și 42) și la circumvoluția temporală superioară. Câteva fibre conectează talamusul cu lobul temporal și insula. Conexiunile corticotalamice, corticohipotalamice și corticostriate, corticoreticulate, corticonucleare sunt menționate la capitolele respective.

## SCOARȚA CEREBRALĂ

Din punct de vedere filogenetic, scoarța cerebrală este formațiunea cea mai nouă, prezența ei fiind înregistrată abia la reptile. În cursul evoluției, ea a suferit cele mai profunde transformări și complicații de ordin structural -citoarhitectonic și funcțional.

Potrivit principiului corticalizării, pe măsura dezvoltării sale, această formațiune va tinde să preia rolul dominant în reglarea interacțiunii organismului cu mediul, în integrarea actelor psihocomportamentale superioare, de relație.

La om scoarța cerebrală atinge nivelul cel mai înalt de dezvoltare și ea reprezintă, într-adevăr, organul suprem al funcțiilor de comandă și control în cadrul sistemului organismului. Scopul major al studiilor actuale se referă la modus operandi al cortexului cerebral și la localizarea diferitelor activități la nivelul acestuia. Astfel, asistăm în momentul de față la creșterea explozivă a neurochimiei și la descoperirea unui număr impresionant de neurotransmițători cu acțiune lungă sau scurtă. Unele din aceste substanțe sunt eliberate în lichidul intercelular pentru un număr mare de neuroni (efect paracrin), în timp ce altele acționează ca neuromodulatori (Nieuwenhuys, 1996).

### Aspecte cantitative ale structurii corticale

Suprafața totală a cortexului cerebral a fost estimată la 285000 mm<sup>2</sup> (School, 1956), iar volumul la 300cm<sup>3</sup>. Walker și James (1977) arată că aria suprefetei corticale este de aproximativ 800 000mm<sup>2</sup>. Tehnicile noi vor clarifica mai bine această problemă.

Numărul total de celule nervoase corticale a fost evaluat la 14 miliarde (Von Economo și Koskines, 1925), 6.9 miliarde (Shariff, 1953) și 2,6 miliarde (Pakkenberg, 1966). Celulele gliale sunt în număr de aproximativ 50 miliarde.

Hubel și Wiesel (1977) au constatat că o coloană de celule de 1 milimetru pătrat și cu o adâncime de 2,5 milimetri conține 100 000 de neuroni din care 66% sunt piramidali, iar restul interneuroni stelați și  $3 \times 10^9$  sinapse.

Într-un studiu făcut de Cragg (1976) asupra unei părți din cortexul motor (girusul paracentral) s-a constatat că fiecare neuron piramidal are aproximativ 60000 de sinapse și conexiuni cu alte 600 de celule nervoase. Bogăția interconexiunilor dintr-un asemenea etaj este foarte mare. În aria striată unde sunt concentrați circa o zecime din neuronii corticali, dendritele unui singur neuron se pot conecta cu alte 2000-4000 de celule, iar o fibră aferentă poate da ramificații la cel puțin 5000 de celule corticale.

În aria 17 de la animalele primate cu vedere binoculară, populația neuronală este de 2,5 ori mai mare decât în alte arii. Aceste date sunt în acord cu rezultatele neurofiziologice și cu conceptele funcționării coloanelor corticale și a modulelor. Este posibil ca ansamblul elementar al neuronilor corticali să se formeze concomitent cu coloanele respective, în cadrul cărora celulele se grupează pe verticală, de la structurile superficiale la cele profunde. Însă este posibilă și o grupare pe orizontală a neuronilor, de exemplu a neuronilor stelați și piramidali cu axoni scurți din straturile III și IV ale cortexului vizual, constituind astfel un mecanism adecvat de integrare a modelelor informațional-imagistice (iconice) ale obiectelor externe.

Scoarța cerebrală conține fibre aferente, eferente, neuroni de asociație, comisurali, și de proiecție de aproximativ 60 de tipuri.

Datele conform cărora fiecare fibră aferentă și eferentă are conexiuni cu peste 1000 de neuroni, situați la diferite distanțe, relevă intricarea extremă a interacțiunii deferitelor câmpuri. În prezent, evenimentele limitate la volume corticale minuscule (exemplu coloane, moduli, submoduli și conexiunile acestora) par a oferi un câmp de investigație promițător și esențial. De exemplu, luarea în considerație a conexiunilor dintre ariile corticale particulare. Aceste cercetări au dus la crearea conceptelor de circuite și diagrame neuronale. Dar pentru cunoașterea mai profundă a fiziologiei cerebrale este necesar să ne îndreptăm atenția către câmpurile active, sinaptologice, prin înregistrări unitare și chemoarhitectură.

## Neuronii cortexului cerebral

Structura microscopică a cortexului cerebral, ca a oricărei substanțe cenușii, este constituită din celule nervoase și fibre, nevrogliie și vase sanguine.

Neuronii paliumului de forme și mărimi diferite au fost categorisiți în câteva clase, dar majoritatea aparțin celulelor piramidale și celulelor stelate. Ambele tipuri au numeroase subdiviziuni, care diferă după mărime, formă și aranjament nevritic, precum și după nivelul și aria corticală în care se află.

Celulele stelate pot fi sub formă de coș, fuziforme, orizontale, nevrogliiforme și granulare (celulele lui Martinotti).



*Celulele piramidale*, denumire datorată formei lor somatice, pot fi mici (10microni), mijlocii sau gigante (peste 100 microni – celulele lui Betz). Ele reprezintă 66% din populația neuronală a neocortexului (Powell, 1981).

Vârful împreună cu o groasă dendrită apicală este îndreptat în sus.

Neuronii piramidali mici au efecte tonice, sinapsele lor axodendritice fiind excitatoare iar cele axosomatice, inhibitoare (inhibiție presinaptică). Activitatea lor tonică este permanentă, variind ca intensitate în funcție de gradul de vigilență corticală. În timpul somnului activitatea lor diminuează.

Multitudinea sinapselor axodendritice reprezintă baza fizică pentru reacțiile imediate, interneuronale corticale elaborate. Axonii celulelor piramidale cu diametrul mai mic decât trunchiul dendritei principale se extind centripet în structurile subcorticale (ganglioni bazali, talamus, formațiunea reticulată, nucleii trunchiului cerebral, substanța cenușie a măduvei). Unii revin în cortexul ipsilateral ca fibre asociative lungi sau scurte, în timp ce alții traversează linia mediană ca fibre comisurale. Destinația lor o reprezintă punctele homotopice sau heterotopice ale cortexului hemisferic controlateral. Axonii celulelor piramidale mici se ramifică în cortex, iar atunci când îl părăsesc dau un număr de colaterale intrinseci (axonii intracorticali) care se extind orizontal, dar de cele mai multe ori oblic, recurent, către straturile corticale superficiale.

Fiecare neuron piramidal reprezintă miezul tipului fundamental de unitate columnară extinsă cortical, care împreună cu numeroasele sale conexiuni cu alte elemente piramidale formează fibre de proiecție. Conexiunile laterale sunt mediate de axonii intracorticali, de colateralele orizontale și de neuronii de asociație.

*Celulele nervoase stelate* sunt denumite adesea celule granulare din cauza dimensiunilor mici și a aspectului granular al materialului colorat Nissl.

Abundența cea mai mare se află în straturile II și IV. Ele reprezintă circa 33% din populația neuronală a tuturor ariilor neocorticale (Powell, 1981). Ca și celulele piramidale neuronii stelați sunt multipolari.

Diametrul acestora este mic (6-10μm), iar soma este rotundă cu numeroase unghiuri din care ies ramuri dendritice bogate și un singur axon scurt. Variatele celule stelate pot fi deosebite prin dispoziția axonului și prin lungimea arborizațiilor. Deși limitate la cortex, axonii lor pot parcurge distanțe intracorticale considerabile în direcție verticală, dar uneori și orizontală. Axonii verticali pot fi centripeți sau centrifugi, ultimii ajungând până la lamina I.

*Celulele în formă de coș* (basket cell) au extindere orizontală.

Axonul vertical scurt se divide imediat într-o familie de colaterale orizontale, ce se termină în largi ramuri terminale, care fac sinapsă cu corpul celulelor și cu dendritele proximale.

Un alt tip de celulă stelată este *celula fuziformă*, numită astfel din cauza a două dendrite largi situate la polii opuși ai somei, ce se divid imediat într-un grup de ramuri care se extind vertical. Axonul care ia naștere uneori din tulpina dendritei se extinde centrifug în lamina I. Aceste celule sunt răspândite în întregul cortex.

*Celulele stelate nevrogliiforme* sunt mici, cu arborizații dendritice dense și cu un axon scurt ramificat.

*Celulele orizontale* limitate la lamina I plexiformă sunt mici și fusiforme. Dendritele se duc la distanță mică, în direcții opuse și numai în lamina I. Axonii

ieșiți din tulpina dendritei se împart în două ramuri, care se duc la distanțe mai mari unul de altul în aceeași pătură.

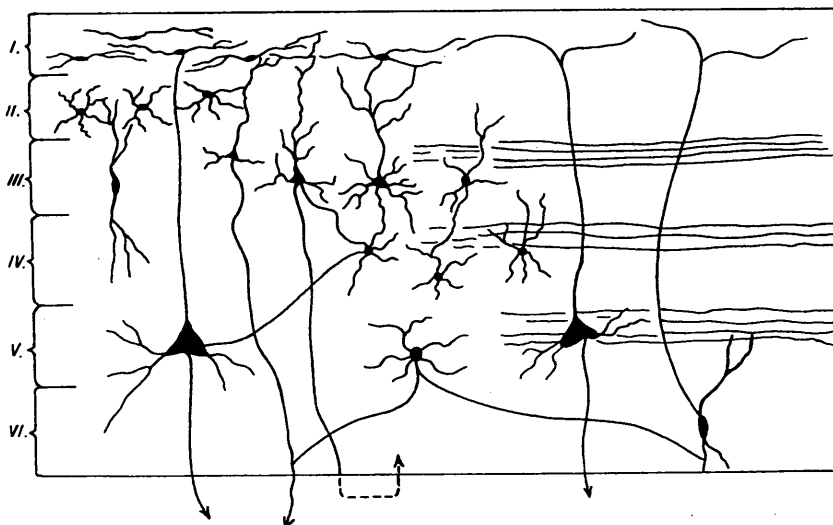
*Celulele lui Martinotti* apar la diferite nivele corticale. Ele sunt mici, multipolare, cu câmpuri dendritice localizate și axoni lungi care se duc centrifug în lamina plexiformă.

*Celulele pleomorfe* sunt considerate ca celule piramidale modificate, ai căror axoni intră în substanța albă. Corpul lor celular are forme diferite după dendritele care se răspândesc în cortex.

### Aspectul laminar al cortexului cerebral

După modul de distribuție al neuronilor, cortexul cerebral sau paliumul prezintă două regiuni: una slab stratificată (două straturi) denumită allocortex și alta mult stratificată denumită izocortex. Din punct de vedere filogenetic, prima corespunde structurilor vechi – paleo și arhicorticeale iar cealaltă, structurilor noi neocorticeale. În structura allocortexului distingem două straturi: stratul extern sau granular format din neuroni de dimensiuni mici cu funcție senzorială și stratul piramidal alcătuit din neuroni de dimensiuni mari și mijlocii cu funcție motorie (Peters și colab., 1970).

Izocortexul are șase straturi principale (fig. 86).



**Fig. 86.** Structura citoarhitectonică a celor VI straturi ale scoarței cerebrale

I. Stratul zonal sau molecular format din celule nervoase cu talie mică și aranjare orizontală.

II. Stratul granular extern alcătuit din celule neurogliforme (stelate și piramidale mici).

III. Stratul piramidal extern format din neuroni piramidali mici și mijlocii, din celule stelate și fuziforme și din stria lui Kass-Beeterew situată în partea superioară a acestuia.

IV. Stratul granular intern populat de neuroni stelati și cu puține celule piramidale. Aici se află și stria externă a lui Baillarger.

V. Stratul piramidal intern (ganglionar) format din neuroni piramidali mari (Betz) și mici și din stria internă a lui Baillarger.

VI. Stratul multiform format din celule Martinotti.



1) Stratul plexiform (zonal sau molecular) situat la exterior este format cu precădere din nevroglii și din celule nervoase de talie mică și cu dispoziție orizontală.

Celulele nervoase orizontale au o pondere redusă la acest nivel. În jurul acestora se găsește o masă compactă de fibre tangențiale derivate din celule piramidale (dendrite apicale).

Aici se termină axonii verticali ai celulelor stelate și Martinotti (axonii verticali configurali centrifugali) precum și fibrele aferente de proiecție și de asociație. Stratul zonal formează o pătură de protecție pentru straturile profunde.

2) Stratul granular extern este alcătuit dintr-un număr mare de celule stelate și piramidale mici. Dendritele neuronilor acestui strat merg ascendent în pătura moleculară, iar axonii se orientează în jos, stabilind contacte sinaptice excesive cu dendritele apicale ale celulelor piramidale mari din stratul III și V. Funcțional, stratul granular este legat de prelucrarea și integrarea mesajelor senzoriale transmise prin fibrele care pornesc de la nucleii talamici periferici.

3) Stratul piramidal extern este format din neuroni piramidali mijlocii, cei mai mici fiind situați în apropierea stratului II. Acești neuroni prezintă o dendrită mai lungă, care ajunge la stratul molecular unde se ramifică; celelalte dendrite sunt relativ scurte, rămânând în limitele aceluiași strat. Axonii traversează straturile subiacente, părăsesc scoarța cerebrală și pătrund în substanța albă subcorticală.

O parte din ei se întorc din substanța subcorticală la scoarța aceleiași hemisfere sau trec prin corpul calos și se termină în scoarța hemisferei opuse. Această categorie de axoni servește pentru conectarea diferitelor zone ale scoarței cerebrale. De aceea, neuronii piramidali corespunzători se numesc asociativi. O altă parte a axonilor celulelor stratului III se îndreaptă spre formațiunile subcorticale și de acolo spre segmentele inferioare ale nevroxului – trunchiul cerebral și măduva spinării – luând denumirea de neuroni de proiecție.

Tot în acest strat pot fi întâlnite și unele celule stelate (orizontale, în formă de coș și fuziforme) ale căror dendrite și axoni se extind la distanță.

4) Stratul granular intern, mai îngust, este populat în primul rând cu neuroni stelați și cu câteva celule piramidale. Dendritele acestora sunt scurte și bogat ramificate, iar axonul se ramifică puternic imediat ce iese din celulă și se termină pe dendritele propriului neuron sau, îndepărtându-se puțin, se termină pe dendritele celulelor piramidale ale aceluiași strat sau ale straturilor vecine. Ca și celelalte straturi, acesta conține un mare număr de nevrite verticale derivate din neuronii altor arii corticale, din regiunile subcorticale și din straturile adiacente.

Stratul granular reprezintă cel de-al doilea sediu cortical al sensibilității, primind fibre nervoase de la nucleii talamici nespecifici.

5) Stratul piramidal intern (ganglionic) conține cei mai mari neuroni piramidali (Betz), dar și unii mai mici. Dendritele lor urcă până la stratul molecular, iar axonii se îndreaptă în jos și ajung la centrii motori subcorticali și medulari. Ei alcătuiesc căile piramidale prin care se transmit de la scoarță mesajele de comandă pentru mișcările voluntare. Aici, mai poate fi întâlnit și un număr mic de celule stelate. Stratul este penetrat de o densă rețea de dendrite și axoni proveniți de la elementele sale intrinseci, precum și de la celulele altor pături corticale. Stratul V reprezintă nivelul cortical al sintezei eferente, sediul motricității voluntare (intenționale).

6) Stratul multiform sau fuziform conține celule cu forme și prelungiri variate. Majoritatea acestora sunt mici și provin din elemente piramidale modificate, corpul lor celular fiind fuziform, triunghiular, ovoid sau cu alte profile. La acest nivel întâlnim adesea și celule mici multipolare de tip Martinotti, care nu totdeauna sunt bine delimitate de zonele corticale subiacente. Ele își trimit axonii în stratul molecular. Dendritele celorlalte celule urcă până la nivelul stratului molecular, în timp ce axonii acestora trec în substanța albă a hemisferelor cerebrale.

Cele șase straturi nu au o reprezentare egală în toate zonele izocortexului; în unele zone predomină straturile granulare, iar în altele predomină straturile agranulare (piramidale). Aceste segmente, în care anumite straturi lipsesc sau sunt diminuate, poartă denumirea de cortex heterotipic.

Cortexul în care persistă toate cele șase straturi este numit homotipic.

*Tipul cortical granular* al cortexului (konocortex) este caracterizat prin dezvoltarea maximă a straturilor granulare. El conține o rețea densă de celule stelate și câțiva neuroni mici piramidali.

Straturile III și IV sunt puțin dezvoltate sau neidentificabile. În interiorul acestui tip de cortex găsim proiecții aferente, dar și câteva fibre eferente derivate din celulele piramidale amintite.

Cortexul tipic granular este întâlnit în girusul postcentral, în aria striată, în girusul temporal superior (aria acustică) și în mică parte în girusul parahipocampic.

*Tipul cortical agranular* se caracterizează prin absența sau diminuarea stratului granular (II și IV) și prin prezența câtorva celule stelate împrăștiate. Aici, celulele piramidale au cele mai mari dimensiuni și cea mai mare densitate. Identificat inițial în aria 4, este întâlnit în ariile 6, 8, 44 precum și în diferitele părți ale sistemului limbic. Din celulele piramidale se proiectează un mare număr de axoni. Prin urmare, cortexul agranular este echivalent cu ariile motorii, care primesc totuși și proiecții eferente.

Cortexul homotipic, în care persistă cele șase straturi, include cortexul frontal (premotor), parietal (postcentral) și polar (vizuopsihic).

Toate aceste tipuri de cortex sunt forme intermediare. În tipul frontal, straturile III și V conțin un mare număr de neuroni piramidali, mici și medii, iar straturile granulare II și IV sunt mai puțin proeminente. Acesta nu este limitat la regiunea frontală.

Tipul parietal are celule piramidale mult mai mici decât cele din tipul frontal. Dimpotrivă, stratul granular este mai dezvoltat și conține mai multe celule stelate. Acest fel de cortex este întâlnit de obicei în lobii parietal și temporal.

Tipul polar se află în ariile mici de la nivelul polului frontal și occipital. El este cortexul cel mai subțire. Aici sunt întâlnite toate cele șase straturi, dar stratul piramidal (III) este redus și neinvadat extensiv cu celule stelate ca în tipul de cortex granular. Mai organizată este pătura multiformă (VI).

Din punct de vedere funcțional, zonele în care predomină straturile granulare realizează integrarea informației sosite de la periferie, ele primind numele de senzorial-gnozice. Cele în care predomină straturile piramidale realizează operațiile de integrare plurimodală a informației (zonele asociative) și de integrare în programe de tip finalist a impulsurilor de comandă eferente (zonele motorii).

Organizarea celulară a scoarței cerebrale trebuie privită în strânsă dependență de specificul activității sale informațional-integrative.



Drept bază a acestei organizări nu trebuie luați neuronii în sine ca entități izolate, ci ansamblurile lor cu numeroasele lor conexiuni inverse.

### **Particularități structural funcționale ale zonelor corticale posterioare**

Cercetările morfofiziologice și observațiile clinice efectuate încă în prima jumătate a secolului al XIX-lea au stabilit că zonele situate posterior scizurii centrale (Rolando) reprezintă locul de proiecție al suprafețelor receptoare atât ale exteroceptorilor, cât și ale proprioceptorilor.

Vederea, auzul, atingerea, durerea, mirosul, gustul și senzația de mișcare a corpului își au originea în sistemul senzorial. La rândul lor, aceste percepții stau la baza cunoașterii lumii. Analiza psihofizică ne oferă posibilitatea înțelegerii modului în care diferiți stimuli modifică activitatea creierului și generează percepții specifice. Caracteristica ce mai importantă a organizării sistemului senzorial se referă la modul în care inputurile provenite de la receptori periferici (suprafața corpului, cohlee, retină, etc) sunt cartate în structurile creierului.

Aceste hărți nu corespund punct cu punct forme și întinderii periferice, ci reflectă relativa importanță pentru percepție a diferitelor părți din suprafața receptivă. Astfel, vârful degetelor are o reprezentare cerebrală mult mai mare decât pielea de pe spatele nostru, iar în zona de proiecție a analizatorului vizual, cea mai mare întindere o are reprezentarea părții centrale a retinei (pata galbenă). Prin urmare, diferitele segmente ale organelor de simț sunt reprezentate integral ca întindere, proporțional cu importanța lor funcțională, cu densitatea elementelor receptoare și cu motivele și scopurile activității. Sistemele senzoriale nu sunt destinate numai percepției lumii externe, ci sunt esențiale și pentru menținerea trezirii, pentru formarea imaginii corpului nostru și pentru reglarea mișcărilor.

Diferitele aspecte ale percepției sunt transportate și prelucrate în paralel de către diferite componente ale sistemului senzorial. Fiecare sistem analizează informația senzorială de la nivelul receptorului. Acesta abstractizează secvențe informaționale și le prezintă creierului în diferite regiuni care le pot reconstrui într-o percepție unică, conștientă.

Astfel, s-a stabilit că fiecărui sistem informațional-aferent îi corespunde o reprezentare topografică bine delimitată la nivelul scoarței posterioare. Câmpurile 17, 18 și 19 din lobul occipital formează capătul terminal al analizatorului vizual, unde se desăvârșește ansamblul proceselor integrative care stă la baza senzațiilor și percepțiilor de culoare, formă, mărime, volum, distanță. Câmpurile 41, 42 și 22 din prima circumvoluțiune a lobului temporal constituie sediul mecanismului integrativ final al percepției auditive, câmpurile 3, 1 și 2 formează veriga integrativă finală a analizatorului tactil și chinestezic ș.a.m.d.

Între aceste câmpuri există o anumită diferențiere și specializare funcțională, în sensul că unele realizează o analiză și o integrare de tip secvențial, pe însușiri, a stimulilor (de exemplu câmpul 17 în cadrul analizatorului vizual, câmpul 41 în cadrul celui auditiv), altele – o analiză prin sinteză și o integrare de tip configurațional, global (de exemplu câmpurile 18 și 19, 42 și 22, în cadrul analizatorilor menționați). În jurul câmpurilor centrale se dispun zonele asociativ

gnostice, care realizează o integrare de tip plurimodal și o codificare categorial-simbolică a informației specifice. Prin natura funcțiilor pe care le îndeplinesc, ele trebuie să primească informații de la toate zonele senzoriale de proiecție. Vorbind în termeni cibernetici, putem spune că „ieșirile“ zonelor de proiecție (în forma imaginilor modale individualizate sau generalizate) devin „intrări“ pentru cele de asociație (de ordinul II, III sau IV) (Luria, 1973).

Redăm în continuare unele particularități structural funcționale ale zonelor corticale posterioare.

### Ariile corticale

Nu toată scoarța cerebrală are o structură asemănătoare. Gennari, Bety, Bechterew, Brodmann și von Economo au observat că există variații stratigrafice de la o zonă la alta, variații în grosimea păturilor celulare, de densitate și orientare celulară, variații de volum și numerice. Există, deci, zone corticale mai mult sau mai puțin întinse, deosebite din punct de vedere structural. Aceste zone au fost numite arii corticale sau câmpuri corticale. Brodmann a descris peste 50 arii iar von Economo peste 100. După predominanța păturilor celulare din structura lor unele arii au funcție efortorie, iar altele receptorie. Astfel, celulele piramidale și fusiforme sunt efortorii, iar celulele granulare primesc indicații de la periferie sau din structurile profunde ale scoarței cerebrale, imprimând un caracter receptor ariilor în care predomină.

În sfârșit, celulele din straturile I, II, și chiar III, care se găsesc aproape în întreaga scoarță, sunt de asociație. De aceea, în special, în scoarța creierului omenesc funcția de asociație aparține întregului neocortex (Repiciuc, 1966). Pe lobii hemisferici, ariile corticale sunt indicate prin numere de ordine. Cea mai utilizată este harta citoarhitectonică a lui Brodmann (fig. 87). Totuși, tendința de a limita ariile corticale prin granițe precise este greșită deoarece au între ele zone de trecere.

De asemenea, eronat s-a apreciat că fiecare arie corticală este legată de o funcție caracteristică. Localizările funcționale din scoarța cerebrală nu respectă limitele citoarhitectonice ale unei arii.

Scoarța cerebrală reprezintă o vastă suprafață de recepție sintezozanalizatoare pentru receptorii periferici dar și de comanda de reglare a eforturilor. Fiecare din aceste regiuni are o porțiune periferică unde se realizează analiza și sinteza superioară și o porțiune centrală unde analiza și sinteza sunt posibile numai în forma lor cea mai elementară.

### Cortexul somatosenzorial

Cortexul senzorial somatic joacă un rol important în prelucrarea tuturor submodalităților senzoriale somatice, deoarece are mai multe regiuni citoarhitectonice situate în partea anterioară a lobului parietal. În general, există o arie somatosenzorială primară și una secundară, care nu au rol în recunoașterea sensibilității protopatice ce aparține talamusului.

Aceste arii au rol în integrarea experienței senzoriale și în interpretarea discriminativă a informației.



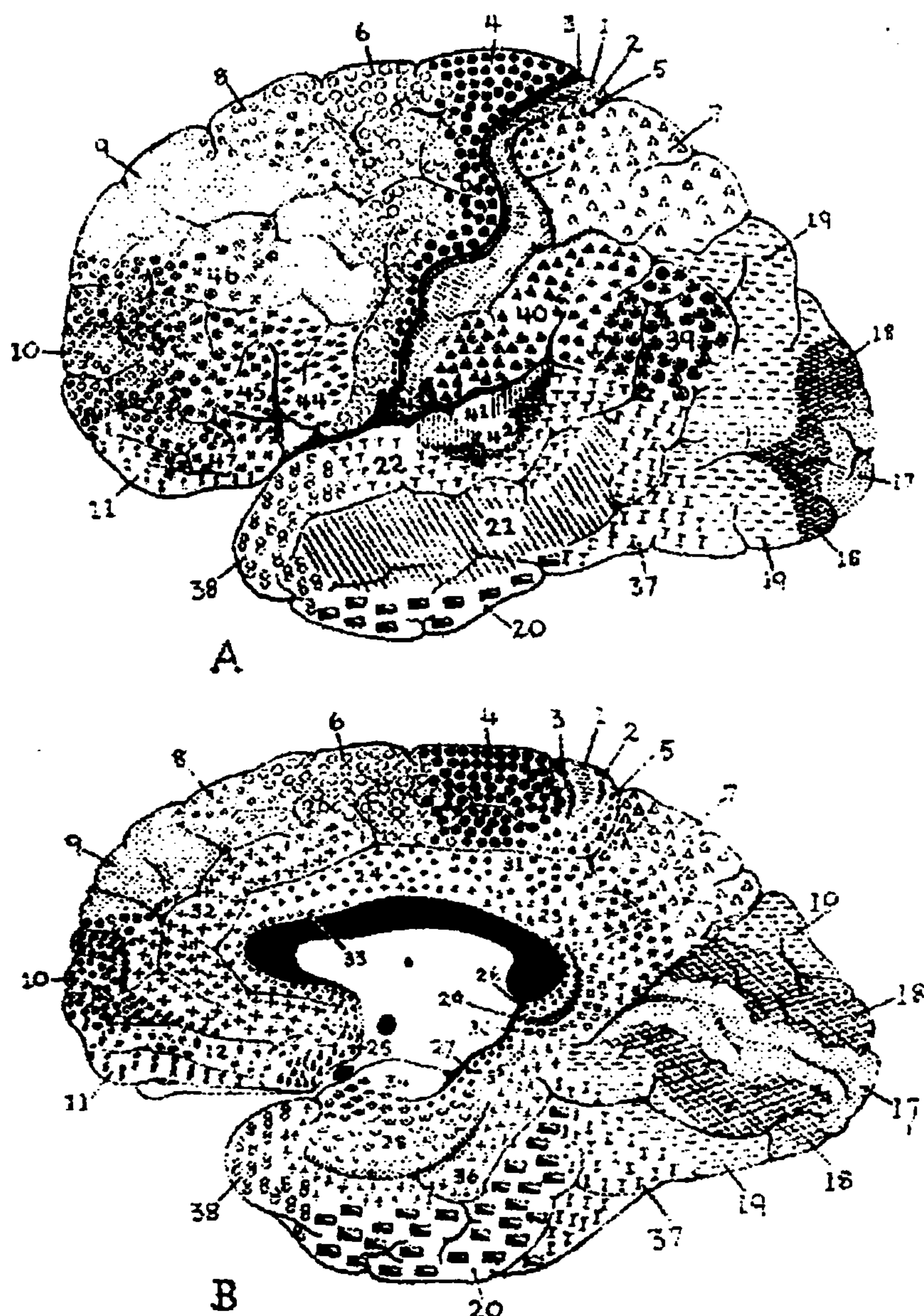


Fig. 87. Harta citoarhitectonică a cortexului uman  
A. Suprafața cortexului. B. Suprafața medială (după Brodmann).

*Cortexul senzorial somatic primar (S-I)* este localizat în girusul postcentral în profunzimea șanțului central, în regiunea posterioară a lobului paracentral și în porțiunea superioară și inferioară a lobilor parietali. El are patru arii funcționale: ariile Brodmann 1, 2, 3a și 3b, fiecare cu rol diferit în senzația somatică. Aria 3 de tip granular situată pe fundul șanțului central și de-a lungul peretelui central recepționează prin fibre groase, aproape toată sensibilitatea exteroceptivă epicritică, discriminativă. Tot în acest câmp sosesc, pe calea caudală a nucleului ventral posterolateral, și impulsurile cu rol în percepția conștientă a poziției și mișcării membrelor.

Aria 1 primește sensibilitatea extero și proprioceptivă prin cele 30% fibre talamice directe și prin colateralele subțiri ce aparțin fibrelor tactile din câmpul 3.

În aria 2 vin direct de la talamus numai fibrele subțiri proprioceptive kinestezice contralaterale. Sensibilitatea exteroceptivă ajunge în ariile 3 și 1 pe calea colateralelor subțiri ale fibrelor, iar aria 2 are legături directe cu nucleii talamici.

După Hassler (1959) sensibilitatea dureroasă s-ar proiecta pe câmpul 3 iar sensibilitatea tactilă și proprioceptivă (poziția în spațiu, atitudinile, mișcările, echilibrul) pe câmpul 1. Sensibilitatea organelor abdominale proiectează pe suprafața operculară a girusului postcentral. Câmpurile 5 (5a, 5b) și 7, care constituie aria somatopsihică, au rolul de a recunoaște asemănarea și deosebirea surselor producătoare ale senzațiilor actuale precum și interpretarea lor. Aici este vorba de sensibilitatea epicritică discriminativă. Proiecțiile somatice care ajung la S-I iau naștere din nucleul ventral posterior, sunt organizate somatotopic și transmit informații din partea controlaterală a corpului (fig. 88).

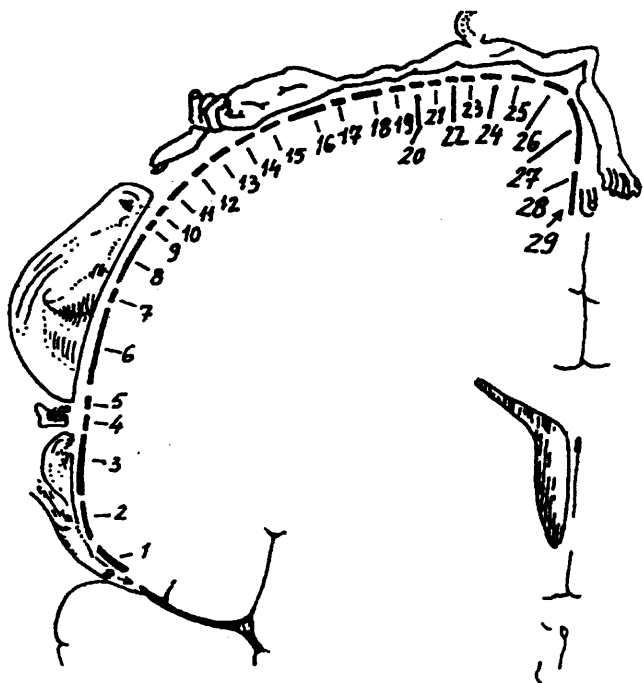


Fig. 88. Homunculul sensibil cu reprezentarea somatotopică a principalelor arii senzitive (adaptată după Penfield și Rasmussen, 1950).

1. Sectorul intraabdominal;
2. Faringele; 3. Limba; 4. Dinți, gingie și falcă; 5. Buza inferioară; 6. Buzele; 7. Buza superioară; 8. Fața; 9. Nasul;
10. Ochii; 11. Degetul mare de la mână; 12. Index; 13. Mediu; 14. Inelar; 15. Degetul mic; 16. Mâna; 17. Încheietura mâinii; 18. Antebraț; 19. Cot;
20. Braț; 21. Umăr; 22. Cap; 23. Gât; 24. Trunchi; 25. Șold;
26. Picior (de la șold la gleznă); 27. Laba piciorului; 28. Degetele picioarelor.

Lateral și ceva mai posterior cortexului somatic primar se află *cortexul somatic secundar (S-II)*, care se întinde pe versantul superior al șanțului lateral, în profunzimea sa și în regiunea insulei.

Cortexul somatic secundar este mai redus decât aria primară, iar reprezentarea segmentelor corpului la acest nivel este bilaterală cu predominanță controlaterală și inversă celei din aria primară (membrul superior este anterior, iar cel inferior este posterior).



Ariile S-I și S-II ipsilaterale sunt conectate între ele și cu cortexul motor. Aria S-I are conexiuni controlaterale cu aria S-II. Aria S-II este conectată cu aria S-II controlaterală și cu aria S<sub>1</sub> numai unde este reprezentată regiunea perianală.

Cortexul senzorial somatic secundar primește inputuri primare din S-I, după care trimite proiecții în câmpul senzorial somatic insular (Rustioni și Weinberg, 1989; Martin și Jessell, 1991). În afara ariilor corticale senzoriale somatice primară și secundară și lobul parietal posterior primește inputuri somatice. Această regiune senzorială corticală este de ordin înalt și funcționează ca un cortex asociativ. El este în legătură cu prelucrarea senzorială și motorie, precum și cu integrarea diferitelor modalități senzoriale somatice necesare percepției (Martin și Jessell, 1991).

În cortexul somatosenzorial există două clase majore de neuroni: celule piramidale cu output cortical și celule nonpiramidale de interconectare a diferitelor regiuni corticale locale. Neuronii piramidali pot fi divizați în mai multe subclase, deosebite prin localizare și prin țintele către care se proiectează. Astfel, neuronii piramidali din straturile corticale 2 și 3 se proiectează în diferite arii corticale, iar neuronii piramidali din straturile 5 și 6 trimit axoni la ariile subcorticale și la talamus.

Axonii neuronilor piramidali au un ram recurent care excită neuronii nepiramidali și unii neuroni piramidali locali.

Neuronii nepiramidali clasificați după ramificațiile lor axonale au primit nume ornamentale (celule cu dublu buchet, celule în candelabru, celule în pânză de păianjăn). Mulți dintre acești neuroni care primesc inputuri directe și de la aferențele talamice sunt inhibitori și utilizează ca neurotransmițător acidul gama-amino-butiric (GABA). Ei contracarează celulele piramidale excitatoare ce utilizează ca neurotransmițător glutamatul sau aspartatul.

Neuronii piramidali din cortexul senzorial somatic care primesc inputuri talamice, au trei tipuri de axoni: de asociație, calosali și de proiecție (sau de proiecție descendentă).

**Conexiunile de asociație** ale neuronilor din stratul 2 și 3 au rolul de a uni neuronii diferitelor regiuni corticale din aceeași hemisferă.

Astfel, există conexiuni asociative între toate cele 4 arii din S-I (ariile Brodmann 1, 2, 3a și 3b) precum și între S-I și cortexul parietal posterior (ariile Brodmann 5 și 7). Există de asemenea conexiuni reciproce asociative între S-I și S-II, precum și între aceste două arii corticale somatice și cortexul motor din girusul precentral (aria 4 Brodmann).

**Conexiunile caloase**, care emerg din neuronii straturilor 2 și 3, interconectează ariile simetrice ale celor două hemisfere. Deși cele mai multe arii ale celor două hemisfere sunt conectate prin intermediul corpului calos, unele rămân libere, neunite. De exemplu, regiunile corticale bilaterale care primesc inputuri din partea distală a membrilor nu sunt conectate prin corpul calos (Jones și Powel, 1973; Jones și Wise, 1977; Martin și Jessell, 1991).

**Conexiunile de proiecție** sunt caracteristice neuronilor corticali, care trimit axonii la structurile subcorticale. Cortexul senzorial somatic primar are patru ținte majore pentru proiecțiile descendente: ganglionii bazali, nucleul ventral posterior al talamusului, nucleii coloanelor dorsale și cornul dorsal al măduvei spinării. Neuronii care dau proiecții descendente sunt localizați în stratul 5 și 6. Proiecțiile descendente către talamus (din celulele piramidale ale stratului 6) și măduva

spinării (de la celulele piramidale din stratul 5) controlează influxul informațiilor senzoriale către creier, caracteristică importantă a întregului sistem senzorial.

Celulele piramidale din stratul 5, care dau fibre de proiecție la centrii reflecși inferiori, fac posibilă coordonarea mișcărilor de explorare, ținere și fixare a stimulilor în timpul percepției.

În rezumat, sistemul somestezic (Kass, 1990) cuprinde două mari tipuri de aferente: unul privește sensibilitatea termoegeică, celălalt tactul fin și poziția articulațiilor.

Prima este vehiculată prin calea spino-talamică, ce se încrucișează în măduvă pe linia mediană, ocupă cordonul lateral al acesteia și ajunge în nucleul ventro-posterolateral din talamus. Cea de-a doua trece în cordoanele posterioare ale măduvei, are un releu bulbar (nucleii Goll și Burdach), încrucișează apoi linia mediană în lemniscul median și ajunge, de asemenea, în nucleul ventro-posterolateral din talamus.

Eferențele acestuia ajung în aria somatosenzorială primară (S-I) din circumvoluția parietală ascendentă formată din aria 3 de pe marginea șanțului, aria 2 de pe suprafața circumvoluției și aria 1 dintre aria 2 și 3. Fiecare arie recepționează o anumită modalitate senzitivă și dispune de o organizare somatotopică specifică, a cărei topografie se aseamănă cu cea a homunculusului motor.

Localizarea senzațiilor genitale, rectale și vezicale se află, la om, în partea cea mai de jos a regiunii mediale din aria postcentrală.

Cele mai multe senzații sunt controlaterale, apoi, exclusiv ipsilaterale (regiunea orală); și bilaterale (laringe, faringe și perineu).

Aria somatosenzorială secundară (S-II) situată pe buza superioară a fisurii laterale în operculul parietal are rol în tranzitul informațiilor somestezice către cortexul limbic.

Lobul parietal superior, corespunzător arilor 5 și 7 Brodmann, este prin excelență asociativ și contribuie la integrarea activităților complexe. Lezarea sau ablația acestuia dă slăbire musculară, încetinirea activității reflexe, tulburări de vorbire, heminegligență și agnozii.

## Cortexul vizual

Retina trimite proiecții la trei segmente principale: la nucleul geniculat lateral, la aria pretectală a mezencefalului și la coliculii superiori.

Important este faptul că numai nucleul geniculat lateral prelucrează informația vizuală, care realizează percepția vizuală. Aria pretectală a mezencefalului utilizează inputurile retiniene pentru producerea reflexelor pupilare, în timp ce coliculii superiori utilizează inputurile pentru generarea mișcărilor oculare.

Primul punct de releu în prelucrarea vizuală este reprezentat de cortexul vizual primar (aria 17 Brodmann) sau de aria vizuală I (V1). El este numit și cortex striat, deoarece conține o bandă proeminentă de substanță albă în stratul 4 (stria lui Gennari) constituită din axoni mielinizați proveniți din talamus și alte arii corticale.

Aria vizuală primară V<sub>1</sub> este reprezentată de câmpul 17 și de părțile vecine ale cuneusului și girusului lingual. Uneori se întinde pe fața laterală a hemisferei și în jurul polului occipital.



Nucleul geniculat lateral, coliculul superior și cortexul vizual primar din fiecare hemisferă primesc informații exclusiv din jumătatea contralaterală a câmpului vizual, adică din câmpul vizual temporal ipsilateral și din câmpul vizual nazal controlateral.

Prin urmare, în câmpul 17, situat pe buzele șanțului calcarin, retina și partea dorsală a corpului geniculat lateral se proiectează punct cu punct. Macula se proiectează pe o arie întinsă, care cuprinde extremitatea posterioară a șanțului și polul occipital, iar vederea colorată se proiectează în profunzime.

Cortexul vizual, care are o grosime de circa 2mm, este constituit din șase straturi celulare. Unul din acestea, stratul 4, principalul strat input de la nucleul geniculat lateral este subdivizat în patru subpături (sublamine): 4A, 4B, 4C $\alpha$  și 4C $\beta$ .

Aria vizuală primară are legături reciproce cu corpul geniculat lateral, cu pulvinarul și cu coliculul superior, pe calea fibrelor geniculocalcarine, care formează stratul sagital extern și pe calea fibrelor corticogeniculate, dintre care cele cu origine în stratul cortical VI proiectează pe corpul geniculat lateral, iar cele cu origine în stratul V proiectează pe coliculul superior și pulvinarul inferior. Eferențele corpului geniculat lateral se termină în stratul IV iar fibrele corticogeniculate au origine în stratul VI.

Lund (1988) și alți autori au constatat că celulele M (magnocelule) și P (parvocelule) ale nucleului geniculat lateral se termină în straturi diferite sau chiar în sublamine diferite. Astfel, axonii celulelor M se termină în sublamina 4C $\alpha$ , axonii celulelor P se termină în sublamina 4C $\beta$ , iar axonii unui al treilea grup de celule localizate în regiunea interlaminară a nucleului geniculat lateral se termină în straturile 2 și 3, unde inervează grupe de celule mai întunecate (blobs= pete de culoare sau picătură).

Cortexul conține două clase de celule piramidale și nepiramidale.

Celulele piramidale sunt ceva mai mari și au dendrite lungi și spinoase.

Axonul lor se proiectează în alte regiuni cerebrale. Celulele nepiramidale sunt fie mici și stelate cu dendrite de tip spinos (celule stelate spinoase), fie netede (celule stelate netede). Celulele piramidale și stelate spinoase sunt excitatoare, utilizând ca transmitător glutamatul sau aspartatul. Celulele stelate netede sunt inhibitoare, multe din ele conținând acid gama-aminobutiric (GABA). Odată cu intrarea aferentelor nucleului geniculat lateral în cortexul vizual primar, informația se scurge sistematic dintr-un strat cortical în altul, începând în celulele stelate spinoase care predomină în stratul 4. Aceste celule primesc inputuri directe de la nucleul geniculat lateral după care se proiectează superior în straturile 4B, 2 și 3.

Celulele stratului 2 și 3 se proiectează inferior către celulele piramidale din stratul 5, care prin intermediul colateralelor axonale se unesc cu celulele piramidale din stratul 6. Celulele piramidale din stratul 6 completează circuitul excitator local prin trimiterea unor colaterale axonale la stratul 4 pentru a excita celulele netede inhibitoare. La rândul lor, celulele stelate netede inhibitoare contactează și modulează stimularea celulelor stelate spinoase excitatoare, completând astfel un circuit feedback inhibitor. În acest mod, celulele stelate spinoase distribuie inputul venit de la nucleul geniculat lateral, la cortex și la celulele piramidale, care prin colateralele sale axonale superioare și inferioare integrează activitatea din stratul VI.

Hubel și Wisel (1979) și Hubel și colab., (1978) au constatat că cele mai multe celule situate deasupra și dedesubtul stratului 4 răspund numai la stimulii mai complecși decât cei care excită celulele retiniene și din nucleul geniculat lateral. Cel mai uimitor fapt este că micile spoturi luminoase, care sunt atât de eficace la nivelul retinei, nucleului geniculat lateral și stratului input 4C, rămân complet ineficace în toate celelalte straturi ale cortexului vizual, cu excepția regiunii în pete din stratul superficial. Celulele tuturor regiunilor, cu excepția celor în pete de culoare sau picătură, nu au câmpuri receptive circulare. Ele răspund numai la stimulii cu proprietăți lineare. Pe baza răspunsului la stimulii liniari Hubel și Wiesel (1979) împart celulele (în afara celor în pete de culoare) în două grupe: simple și complexe.

Neuronii simpli sunt cei mai numeroși, au formă stelată și se află în stratul III. Fiecare dintre ei primesc impulsuri de la mai mulți neuroni din corpul geniculat lateral cu care aseamănă. Stimulul lor adecvat este linia care separă plaja luminoasă de cea întunecată, sau dreptunghiul negru, foarte îngust, aflat pe un fond luminos. Câmpul receptor vizual are aceeași formă, iar orientarea axei câmpului este specifică pentru fiecare neuron.

Spre deosebire de neuronii corpului geniculat lateral sau din retină, care au o zonă de inhibiție circulară, neuronii simpli sunt înconjurați de zone liniare de inhibiție și nu răspund la câmpurile vizuale cu altă axă de orientare. Amplitudinea răspunsului acestor celule depinde de întinderea zonei stimulate.

Astfel, o linie luminoasă subțire, a cărei orientare corespunde axei câmpului receptor, dă un răspuns puternic atunci când cade pe zona receptoare specifică. Aceasta poartă numele de axă de orientare a câmpului receptor și este caracteristică și esențială pentru fiecare celulă.

Neuronii cu aceeași axă de orientare sunt așezați în coloane perpendiculare pe suprafața cortexului și se numesc coloane de orientare.

Dacă stimulul are o orientare care excită și periferia inhibitoare, răspunsul va fi cu atât mai slab, cu cât axa câmpului și cea a stimulului se apropie de perpendicularitate. Un stimul cu orientare perpendiculară pe câmpul receptiv rămâne ineficace. Fiecare poziție retiniană este reprezentată de un ax rotator. La aceste celule ajung și fuzionează, inițial, influxurile de la ambii ochi.

**Neuronii complecși** sunt constituiți din celulele piramidale ale stratului IV. Spre deosebire de celulele celorlalte straturi a căror răspuns este binocular dar cu predominanța unui ochi, răspunsul neuronilor complecși este monocular. Ei primesc aferențe de la mai mulți neuroni simpli, cu aceeași axă de orientare a câmpului receptor și pot urmări deplasarea stimulului pe direcția de orientare a axului. Unii răspund numai la mișcarea cranială sau caudală a unei bare negre orizontale și rămân indiferenți la deplasarea ei laterală, alții răspund la deplasările laterale ale barei verticale, iar alții devin sensibili la mișcările pe direcții intermediare.

În consecință, acești neuroni semnalizează direcția mișcării și sensul ei.

Câmpurile receptoare cu celule complexe sunt mai întinse decât cele cu celule simple. Totuși, și aceste câmpuri au un ax critic de orientare, dar poziționarea stimulului în câmpul receptiv este mai puțin precisă.

Mișcarea în aceste câmpuri reprezintă o particularitate a celulelor complexe. Deși unele celule complexe au conexiuni directe cu celulele din stratul 4C, Hubel și Wiesel (1972) cred că inputurile semnificative către celulele complexe vin dintr-



o familie de celule corticale simple cu același ax de orientare, dar care sunt situate puțin în afara câmpului receptiv.

Hubel și Wiesel (1978) arată că funcția celulelor simple și complexe este aceea de a analiza forma imaginii vizuale (contururile și marginile) în termenii segmentelor liniare.

Interacțiunea dintre celulele simple și complexe are importanță pentru percepția formei, independent de mișcările capului și ochilor.

**Neuronii hipercomplexi** sunt mai puțin numeroși, iar proprietățile lor țin de convergența influxurilor transmise de neuronii complecși. Ei răspund la deplasările pe orice direcție a imaginilor complexe din câmpul vizual având funcția de integrare a influxurilor primite de la ceilalți neuroni. Neuronii hipercomplexi sunt fie cu hipercomplexitate mică, fie cu hipercomplexitate mare. Neuronii cu hipercomplexitate mică primesc impulsuri numai de la două seturi de neuroni, unul excitator și altul inhibitor. Neuronii cu hipercomplexitate mare primesc aferențe de la neuronii cu hipercomplexitate mică.

Hubel și Wiesel (1978) afirmă că acțiunea convergentă a celulelor din stratul VI reprezintă pasul inițial al percepției. Această schemă sugerează că fiecare complex celular supraveghează activitatea unui grup de celule simple. Celulele simple supraveghează activitatea unui grup de celule geniculate, care la rândul lor supraveghează activitatea unui grup de celule ganglionare retinale. Celulele ganglionare supraveghează activitatea celulelor bipolare legate de un grup de receptori. La fiecare nivel, fiecare celulă are o capacitate mai mare decât cea a celulelor nivelelor inferioare. Mai mult, celulele simple și complexe din stratul VI primesc inputuri de la două căi funcționale distincte ale nucleului geniculat lateral, calea magnocelulară și parvocelulară.

Celulele care primesc inputuri de la structurile magnocelulare au legătură, în special, cu marcarea și cu conturul grosolan al stimulului.

În contrast, celulele care primesc inputuri primare din straturile parvocelulare au legătură mai mult cu culoarea, textura și cu paternul stimulului. Ambele căi contribuie la formarea schiței primare și la aproximarea aspectului bidimensional al conturului și formei stimulului.

Ca și în cortexul somatic senzorial, unitățile funcționale ale cortexului vizual primar (striat) sunt coloanele subțiri, radiale, ale căror celule au aceeași axă de orientare față de câmpul vizual. Fiecare coloană este alcătuită din două subcoloane alăturate, una excitatoare și alta inhibitoare, separate printr-un spațiu foarte îngust. Aceste coloane se întind de la suprafața pială până la substanța albă. Fiecare coloană are o lățime de 30-100μm, o profunzime de 2mm și conține celule în stratul 4C cu câmpuri receptive concentrice. Deasupra și dedesupt există celule simple cu axe de orientare aproape identice cu pozițiile retiniene, care recepționează imaginea obiectului cu o anumită înclinare față de axul vizual. Din această cauză, aceste grupuri poartă numele de coloane de orientare. Fiecare coloană de oporientare conține, de asemenea, și celule complexe (Hubel, 1988; Gilbert și Wiesel, 1989). Proprietățile acestor celule complexe depind de cele ale celulelor simple prin faptul că fiecare celulă complexă primește conexiuni directe de la celulele simple.

Activitatea celulelor coloanelor este declanșată de stimuli, care în deplasarea lor, trec prin regiunea receptoare excitatorie. Ele sunt sensibile la excitarea câmpului vizual al ochiului controlateral.

Câmpul 17 conține 77% neuroni simpli și 23% neuroni complecși. Câmpul 18 este alcătuit aproape în întregime din neuroni hipercomplecși, 5-19% dintre ei fiind cu hiperactivitate mică. Câmpul 19 este format dintr-un număr aproape egal de neuroni complecși și hipercomplecși. Majoritatea neuronilor simpli, complecși și hipercomplecși, în special cei din câmpurile 18 și 19, răspund la stimularea bilaterală a retinei.

Puțini la număr devin sensibili la stimularea retinei ipsilaterale. Unii răspund la o anumită orientare a axului câmpului vizual, alții la o orientare de 90° față de prima, iar alții la amândouă. Unitățile verticale ale căror celule au aceeași axă de orientare cu a câmpului vizual pot răspunde la stimulări bilaterale, iar altele sunt dominant ipsilaterale sau controlaterale.

Sistemul coloanelor vizuale este astfel organizat încât permite stabilire interconexiunilor celulare locale și generarea unor noi niveluri de abstractizare a informației vizuale. Axul de orientare diferă de la o coloană la alta printr-o înclinare de circa 10 grade. Orientarea topografică a coloanelor a fost demonstrată experimental electrofiziologic și prin injectarea 2-deoxiglucozei de radiomarcare. După secționarea cortexului, celulele metabolic active care conțin marcatorul pot fi examinate cu ajutorul razelor X. În prezent, orientarea coloanelor poate fi vizualizată și direct pe cortexul viu. Înclinarea sistematică a axului de orientare a unor coloane poate fi întreruptă orizontal de celulele în pete din stratul 2 și 3 (Wong-Riley, 1979; Livingstone și Hubel, 1984; Harton și Hubel, 1988). Celulele în pete legate de culoare și nu de orientare primesc conexiuni directe de la nucleul geniculat lateral.

În afara coloanelor legate de orientare și a celor formate din celule în pete (legate de culoare), există și un al treilea sistem de coloane în relație cu ochiul drept sau stâng. Această dominantă oculară columnară prezintă importanță pentru interacțiunea binoculară. Setul respectiv de coloane este aranjat într-o ordine anumită în cortexul vizual primar.

Dominanta oculară a coloanelor a fost vizualizată prin examinarea transportului transsinaptic al aminoacizilor radiomarcați injectați într-un ochi. Pe secțiunile autoradiografice făcute perpendicular pe straturile corticale, mai precis în stratul 4, au fost puse în evidență zone intens marcate de inputurile primite de la ochiul injectat și zone nemarcate mediate de inputurile primite de la ochiul neinjectat (Grafstein și Laureno, 1973; Kisvardaz și colab., 1989).

Referindu-se la setul de coloane care răspund la orice fel de orientare atunci când sunt privite cu ambii ochi, Hubel și Wiesel (1979) au introdus termenul de hipercoloane. Alternanța coloanelor oculare dominante și a celor de orientare se repetă regulat și precis pe suprafața cortexului vizual primar, fiecare ocupând o regiune de aproximativ 1mm. Această organizare repetitivă ilustrează exactitatea organizării modulare a cortexului cerebral. Din aceste caracteristici reiese că cortexul vizual primar are cel puțin trei funcții majore: 1) descompune lumina vizuală în segmente lineare scurte și cu orientări diferite, acesta fiind primul pas în procesul de discriminare a formelor și a mișcării; 2) separă informația de formă de cea de culoare; 3) combină inputurile venite de la cei doi ochi, treaptă necesară în secvențele de percepere a profunzimii.

În afara divizării în coloane, cortexul vizual este divizat în 6 straturi. Fiecare strat din coloană are inputuri și outputuri întrucâtva diferite. Organizarea



conexiunilor output din cortexul vizual primar este similară cu cea a cortexului somatic senzorial. Outputurile pornesc din toate straturile cu excepția celui din 4C. În fiecare strat celulele output principale sunt celule piramidale. Celulele din stratul 2 și 3 fac conexiuni asociative cu regiunile corticale vizuale înalte, cum este aria 18 ( $V_2$ ) Brodmann. Prin intermediul corpului calos ele se conectează reciproc cu ariile corticale de partea opusă a creierului. Celulele stratului 4B se proiectează în lobul temporal medial ( $V_5$  sau MT).

Celulele din stratul 5 se proiectează în coliculii superiori, punte și pulvinar.

Celulele din stratul 6 se proiectează înapoi în nucleul geniculat lateral și în claustrum.

Pulvinarul și claustrumul prezintă importanță penru atenția vizuală. Deoarece fiecare strat al cortexului vizual are o anumită misiune, poziția laminară a celulei determină proprietățile sale fundamentale.

Morfologia dendritelor și colateralelor celulelor piramidale variază în funcție de conexiunile lor aferente. Astfel, suprapunerea în hipercoloane -coloane de celule care funcționează împreună ca dispozitiv de estimare elementară- nu reprezintă altceva decât organizarea orizontală pe straturi. Hipercoloanele primesc variate inputuri, pe care le transformă și le trimit apoi la diferite regiuni ale creierului. În acest fel, circuitele sinaptice din fiecare lamină, precum și cele dintre lamine efectuează prelucrări mai noi și mai abstracte decât cele retiniene și de la nivelul nucleului geniculat lateral (Mason și Kandel, 1991).

După cum am văzut, în cortexul vizual primar sunt delimitate trei unități verticale majore: 1) coloanele de orientare, care conțin neuroni ce răspund selectiv la barele luminoase cu axe specifice de orientare; 2) petele (zone în formă de cui – peg-shaped) din straturile superioare (dar nu din stratul 4), care conțin celule ce răspund la diferiți stimuli colorați, ale căror câmpuri receptive asemănătoare celulelor din nucleul geniculat lateral nu au nici o orientare specifică; și 3) coloanele dominației oculare, care primesc inputuri de la un ochi sau altul. Aceste sisteme de coloane dispuse spațial regulat comunică unele cu altele prin intermediul conexiunilor dintre celulele aceluiași strat.

Conexiunile semnalate au fost delimitate de Gilbert și Wiesel (1979, 1989) prin injectarea în fiecare celulă piramidală din stratul 3 și 5 a peroxidazei. Colateralele axonale ale acestor celule parcurg distanțe lungi paralel cu straturile și dau mănunchiuri de terminale axonale la intervale regulate, egale cu lățimea hipercoloanelor.

Descoperirea sistemului orizontal de interconectare a unităților columnare aparține lui Rockland și Lund (1983). Ei au injectat peroxidază în regiuni restrânse, după care au constatat că celulele marcate sunt așezate într-o rețea sub formă de fagure. Axonii delimitează pereții acestor zone care au un diametru de aproximativ 500μm. Ulterior, cercetările făcute de Livingstone și Hubel (1984) prin injectări la nivelul traseelor corespunzătoare petelor, au dus la evidențierea altor pete marcate în mod similar.

Aranjamentul în fagure a apărut și după marcarea cortexului, care nu avea aspect de pată, sugerând rolul conexiunilor laterale de comunicare între coloanele cu funcții similare. Pentru examinarea acestor comunicări, Tatro și colab (1986) au făcut înregistrări din celulele pereche ale păturilor corticale superficiale. Fiecare pereche s-a aflat la o distanță de 1mm, interval tipic pentru aranjamentul descris

mai sus. Ei au constatat că multe celule pereche se descarcă simultan ca răspuns la un stimul cu orientare specifică sau cu o anumită direcție a mișcării. De asemenea, au stabilit că celulele în pete de culoare sau picătură, selective pentru culoare, sunt legate de alte celule în pete de culoare care răspund în mod similar.

În fond, studiile metabolice și anatomice au stabilit că celulele corticale, ale căror câmpuri receptive au aceeași orientare, sunt conectate prin intermediul rețelei orizontale. Apoi cortexul vizual este organizat funcțional prin două seturi de conexiuni care se intersectează: una verticală compusă din coloane funcționale răspândite în diferite pături corticale și alta orizontală, care conectează funcțional coloane cu răspunsuri asemănătoare.

Gilbert și Wisel (1989) au constatat că aceste conexiuni integrează informația din mai mulți milimetri corticali. Ca rezultat, o celulă poate fi influențată de stimulii din afara câmpului său receptiv normal. Gilbert și Wiesel (1989) au constatat că orientarea axului celular nu este complet invariabilă, ci este dependentă de cortexul în ale căruia caracteristici este implantat.

Principiul psihofizic denumit efect contextual este mediat de conexiunile orizontale (Mason și Kandel, 1991).

Prin urmare, cortexul striat are sisteme de organizare orizontală și verticală. Sistemul orizontal conține celule cu diferite ordine de complexitate. Celulele din stratul V sunt influențate monocular, iar celulele complexe și hipercomplexe sunt influențate binocular. Sistemul vertical este în raport cu poziția retiniană a liniei de orientare, cu dominanța oculară și poate detecta direcția de mișcare.

Două regiuni ale cortexului striat nu conțin coloane cu dominantă oculară: cea care reprezintă pata oarbă a retinei și regiunea corticală care reprezintă cadrul temporal monocular al câmpului vizual.

Unitățile funcționale sunt unite între ele prin axoni recurenți, fibre tangențiale sau chiar prin suprapunere spațială.

Există totuși similitudini izbitoare între cortexul senzorial somatic și cel vizual: ambele dispun de modalități specifice, sunt aranjate topografic și au o organizare modulară. De asemenea, ambele conexiuni sunt organizate în straturi și fiecare din acestea au funcții input și output distincte. În fine, diferitele submodalități senzoriale sunt prelucrate în căi anatomice distincte și cu organizare topografică deosebită.

Bazat pe aceste similitudini, Jones (1986) a sugerat că circuitele neuronale de transformare a inputurilor somato-senzoriale și vizuale urmează același plan. Această idee a fost verificată chirurgical de Metin și Frost (1989) prin redirectionarea axonilor celulelor ganglionului retinal de la hamsterii nou născuți în nucleul talamic ventrobazal, care se află în relație cu sistemul somatic senzorial. Redirectionarea fibrelor retiniene a dus la stabilirea proiecțiilor retinotopice permanente în nucleul ventrobazal și în cortexul somato-senzorial. Ca rezultat, la animalul adult, neuronii din cortexul somatic răspundeau la stimulii vizuali.

Celulele acestuia aveau câmpuri receptive distincte și orientări specifice, comparabile în multe privințe cu neuronii din cortexul vizual primar. Astfel, deși regiuni corticale diferite servesc funcții complet diferite, există posibilitatea ca ele să urmeze o logică comună în transformarea informației senzoriale primită de la receptorii periferici.



În rezumat, prelucrarea informației vizuale este realizată prin două sisteme de conexiuni: unul are ca funcție stabilizarea imaginii retiniene, iar celălalt decodificarea acesteia (Douglas și colab., 1993; Duyckaerts și Hauw, 1996). Retina nu este un receptor pasiv, deoarece ea integrează datele și le comprimă. Imensa cantitate a informațiilor, captată de receptorii vizuali, poate fi transferată milionului de axoni ai nervului optic într-un ritm convenabil, determinat de capacitatea limitată de transmitere a acestuia.

La realizarea selectivității contribuie bastonașele și conurile. Fotoreceptorii constituiți din bastonașe captează intensitățile luminoase foarte slabe, fără a putea diferenția lungimile de undă. Din acest motiv ele văd în alb-negru. Conurile, specializate pentru culorile albastru, roșu și verde, operează la o intensitate luminoasă mai puternică. Ele se concentrează în regiunea centrală a retinei, într-un loc numit fovee, unde vederea este mult mai precisă. Conurile și bastonașele sunt conectate la celulele ganglionare ale retinei. Fiecare celulă ganglionară posedă un număr mic de receptori în fovee și un număr crescut în câmpul periferic al retinei, unde vederea este imprecisă, dar sensibilă. Când stimulul este localizat în câmpul său receptor, frecvența descărcărilor se accenuază în celula ganglionară, iar când stimulul se află în zona de inhibiție periferică, frecvența diminuează. Vederea este mediată de către nervul optic distribuit fiecărui glob ocular. Majoritatea fibrelor sale sunt aferente, provenind din neuronii ganglionului retinian. Fibrele nervului optic formează stratul intern al retinei, după care converg către discul optic și lamina cribreasă pe care o traversează. Nervul, a cărui lungime este de aproape 4cm, traversează canalul optic și intră în cavitatea craniană, unde formează chiasma optică. Din cei 1 200 000 de axoni mielinizați ai nervului optic, aproximativ 53% se încrucișează la nivel chiasmatic. Chiasma se continuă dorsolateral cu tracturile optice, ale căror fibre se termină în cea mai mare parte în corpul geniculat lateral. În afara acestora, unele se duc la nucleul pretectal, altele la coliculul superior și altele la nucleul hipotalamic.

Corpul geniculat lateral, expansiune a talamusului, cuprinde șase straturi: patru dorsale, cu neuroni de talie mică și două ventrale, cu neuroni voluminoși. Ei au un câmp receptor simplu, analog celui al celulelor ganglionare ale retinei. Conexiunile ce provin din straturile dorsale constituie sistemul P (parvocelular), iar cele care provin din straturile ventrale constituie sistemul M (magnocelular). Conexiunile celor două sisteme diferă și pot fi urmărite până la cortexurile de asociație. Prin urmare, fibrele neuronilor corpului geniculat lateral traversează brațul posterior al capsulei interne sub forma radiațiilor optice. Acești axoni ai neuronului vizual secundar se curbează dorsomedial, înconjoară cornul posterior al ventriculului lateral, de care sunt separați numai prin tapetum-ul corpului calos, după care ajung în cortexul vizual occipital. Acesta este format din aria 17  $V_1$  sau aria striată, aria 18  $V_2$  sau parastriatală și aria 19  $V_3$  sau peristriatală, care se expansionează pe cortexul temporal și parietal.

Limitele lor sunt puțin cunoscute la om (Clarke și Miklossay, 1990).

Prima arie vizuală - aria 17,  $V_1$  sau aria striată - este constituită din cortexul buzelor scizurii calcarine. O celulă cu con din retină poate activa mai mult de 100

neuroni din aria 17 care sunt grupați în coloane radiare de două tipuri: 1) coloane cu dominantă oculară, 2) coloane de orientare, care recepționează imaginea obiectului cu o anumită înclinare față de axul vizual.

Un electrod implantat perpendicular pe suprafața cortexului permite recunoașterea coloanelor specifice pentru orientare, ai căror neuroni sunt sensibili la înclinarea stimulului vizual. Alte coloane („de dominanță“) cuprind neuroni care răspund preferențial la stimularea unuia dintre cei doi ochi. Demonstrarea histoenzimologică a activității citocrom-oxidazei arată, pe secțiuni corticale tangențiale, regiuni mai întunecate (blobs=pete de culoare, picături) corespunzătoare unor coloane de neuroni sensibili la culori (Duyckaerts și Hauw, 1996). Aria 17 trimite proiecții bilaterale câmpurilor 18 și 19, culicului superior și nucleului motor al nervului oculomotor, pe calea nucleilor interstițial, comisural, paramedian și a complexului nuclear al comisurii posterioare. Fuzionarea câmpurilor vizuale într-o imagine unică începe în starturile II, III și V și sfârșește în stratul V. Aria 17 are rol în procesul de orientare. Lezarea unilaterală a ariei 17 dă hemianopsie laterală homonimă controlaterală. Lezarea bilaterală a ariei striate duce la orbire totală. A doua arie vizuală ( $V_2$ ) ocupă un teritoriu care corespunde aproximativ ariei 18 Brodmann. Aria vizuală secundară  $V_2$  sau parastriată, situată anterolateral de  $V_1$  reprezintă imaginea în oglindă a ariei 17. Ea este principala arie de asociație, arie vizuopsihică și centru al memoriei vizuale, cu rol în organizarea imaginii și în acomodare (Andronescu, 1998). În stratul V al acesteia se află celulele Maynert. Histoenzimologia citocromoxidazei arată prezența unei rețele de benzi înguste sau late în această arie. Benzile înguste sunt legate de petele de culoare, iar benzile late primesc aferențe de la stratul IVC al lui  $V_1$ , în relație directă cu corpul geniculat lateral.  $V_1$  și  $V_2$  au o organizare diferită, dar paralelă.

Grupele neuronale sensibile la orientare (între pete) și cele sensibile la culoare (în pete de culoare) rămân distincte (Duyckaerts și Hauw, 1996). Aria 18 nu are stria Gennari. Aria vizuală secundară ( $V_2$ ) trimite eferențe în aria frontală 8 pe calea fascicului longitudinal superior și inferior și spre aria 18 controlaterală prin corpul calos. De asemenea, are conexiuni bilaterale, în ambele sensuri, cu nucleul dorsal al corpului geniculat lateral, cu ariile 17 și 19 și cu pulvinarul. Împreună cu câmpul 19 contribuie la formarea fasciculelor corticotectale și corticomezencefalice, prin fibre care ajung la nucleii oculomotori. Aceste conexiuni explică mișcările reflexe ale ochilor și capului la stimulii vizuali, precum și reflexul oculomotor la distanță prin alte fibre decât cele geniculocalcarine. Ariile 17 și 18 sunt esențiale pentru mișcările ochilor induse de stimulii luminoși, pentru urmărirea unui obiect și pentru fixarea privirii. Excitarea ariei 18 provoacă halucinații colorate.

Aria vizuală terțiară 19 ( $V_3$ ) sau aria peristriată are aferențe puține care vin de la pulvinar și corpul geniculat lateral și care ajung în straturile III, IV și VI.

Stratul V are celule Meynert, așezate pe un singur șir, iar stria Gennari este absentă. Axonii lor iau parte la formarea fasciculelor corticolaterale și corticomezencefalice, care ajung în trunchiul cerebral prin intermediul nucleilor interstițial și comisural. Pentru a permite mișcările voluntare ale globilor oculari această arie



utilizează conexiunile sale cu aria frontală 8 și cu aria 19 controlaterală, prin intermediul corpului calos.

Aria vizuală terțiară 19 ( $V_3$ ) are rol în vederea stereoscopică, aici realizându-se și noțiunea de spațiu, orientarea spațială, perceperea formelor, reprezentarea imaginii corpului, mișcarea, localizarea în profunzime, întinderea și corectitudinea imaginilor. Lezarea ariei 19 duce la perceperea distorsionată a imaginilor și la dezorientare spațială.

$V_4$  ar fi cuprinsă în întregime în girusul fuziform, iar  $V_5$  (sau MT- medio-temporală), masiv mielinizată, ar fi situată pe convexitatea cerebrală, la joncțiunea dintre arile 19 și 37, Brodmann, adică la frontiera posterioară a celei de a 2-a circumvoluții temporale (Zeki, 1991). În schimb  $V_6$  este situată pe fața internă a hemisferei, pe marginea șanțului parieto-occipital. La om, ar exista și unele arii profilate în prelucrarea diferitelor aspecte ale informației vizuale, cum ar fi recunoașterea fețelor.

În cazul prosopagnoziei (nerecunoașterea fețelor) informația generică („este vorba de o față“) și elementele sale (buze, urechi, ochi, etc) sunt păstrate. Întinderea leziunii încă nelimitată ar interesa bilateral lobul lingual și fuziform sau substanța albă adiacentă. În acest context, Kaas (1989), Douglas și colab. (1993) și Zeki (1993) relevă că în analiza imaginii sunt puse în joc numeroase arii corticale și subcorticale (Botez, 1987). Aceste arii izolate, mai frecvente la primate, au fost denumite, prin tehnici electrofiziologice  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_5$  (sau MT) și mai recent  $V_6$ . În privința funcției acestora, s-au emis două ipoteze. Prima ipoteză distinge două mari curente. Primul, dorsal, care ajunge în cortexul parietal, ar interveni mai ales în recunoașterea relațiilor spațiale, permițând răspunsul la întrebarea „unde“. Al doilea, ventral, s-ar prelungi în lobul temporal și ar permite mai ales răspunsul la întrebarea „ce“. El ar cuprinde toate sistemele de recunoaștere a formelor și a fețelor. Această concepție a fost violent combătută în ultimii ani (Zeki, 1993). După a doua ipoteză emisă de Zeki (1993), fiecare arie corticală ar îndeplini o funcție particulară în prelucrarea informației vizuale. Schematic,  $V_1$  și  $V_2$  ar juca un rol de segregare a informației vizuale,  $V_3$  ar fi specializată în analiza formelor dinamice, cuprinzând în special profunzimea,  $V_4$  ar lua parte la analiza culorilor,  $V_5$  ar analiza mișcarea, iar  $V_6$  ar interveni în reprezentarea spațiului (Zeki, 1993).

În acest context, lezarea lui  $V_4$  ar abolii vederea în culori (acromatopsie), iar lezarea lui  $V_5$  ar duce la neperceperea sau perceperea slabă a formelor aflate în mișcare (akinetopsie) (Zeki, 1991). În lezarea lui  $V_1$  poate persista o vedere reziduală într-un câmp considerat orb.

Această vedere reziduală într-un câmp considerat orb poate fi inconștientă (blindsight=vedere oarbă) sau conștientă (Zeki, 1991). După Barbur și colab. (1993), activarea directă a lui  $V_5$ , fără releu în  $V_1$ , ar putea sta la originea percepției conștiente a obiectelor în mișcare, chiar dacă este imprecisă.

Informația vizuală poate atinge ariile vizuale secundare, fără să treacă prin aria striată, prin intermediul căilor directe din corpul geniculat lateral și al celor indirecte (colicul superior, pulvinar- $V_5$ ).

A treia ipoteză, care le reia pe primele două, ia în considerație cele două tipuri neuronale din corpul geniculat. Sistemul P ar permite prelucrarea informațiilor de mare acuitate și contrast înalt, privind culoarea, textura și forma. Sistemul M ar privi profunzimea, mișcarea și contrastele slabe (Duyckaerts și Hauw, 1996).

Sistemul vizual permite identificarea unei ținte și urmărirea ei dacă se află în mișcare sau dacă observatorul se deplasează în scopul recunoașterii acesteia. În procesul respectiv oculomotricitatea îndeplinește două sarcini: reperarea țintei grație unei sacade (mișcare oculară rapidă, voluntară sau reflexă) și apoi urmărirea ei printr-o mișcare lentă involuntară (urmărire oculară) (Pierrot- Deseilligny, 1985). Mișcările de lateralitate, de verticalitate și de convergență sunt asigurate de nucleii nervilor cranieni III, IV și VI din trunchiul cerebral, de fibrele care îi unesc și care trec de bandelela longitudinală posterioară, și, în sfârșit, de centrii premotori care programează sacadele, mișcările de urmărire și de convergență. Nucleii vestibulari controlează mișcările reflexe, formațiunea reticulată pontină paramediană regizează sacadele laterale, iar nucleul rostral interstițial al bandelelei longitudinale posterioare comandă sacadele verticale.

La mamifere, coliculii superiori au funcții vizuomotorii importante, mai ales în reacțiile de orientare și în geneza sacadelor, dar cortexul cerebral joacă rolul determinant.

Pierrot- Deseilligny, (1985) relevă că centrii vizuomotori corticali sunt în principal frontali și temporoparietali. Astfel, aria oculomotorie frontală 8 Brodmann este implicată în principal în controlul sacadelor voluntare și în urmărirea oculară, iar aria oculomotorie suplimentară, situată în partea anterioară a ariei motorii suplimentare, ar interveni în programarea secvențelor de sacade. Inhibarea sacadelor reflexe și memorizarea direcției unei sacade ar fi sub dependența ariei 46 Brodmann (arie oculomotorie prefrontală) localizată în a 2-a circumvoluție frontală. Câmpul oculomotor parietal implicat în declanșarea sacadelor reflexe ghidate de vază este situat în partea superioară a girusului angular și în șanțul intraparietal. Ariile vizuale medio-temporală și temporală supero-internă, ambele situate la extremitatea posterioară a celei de a 2-a circumvoluții temporale, la frontiera temporo-parietală, sunt necesare programării mișcărilor lente de urmărire.

## Cortexul auditiv

Pentru înțelegerea organizării proiecției nucleilor cochleari până la cortexul auditiv și a încrucișării extensive a acesteia, este necesar să se țină cont de interacțiunea binaurală, fundamentală în localizarea sunetelor.

Localizarea sunetelor în spațiu se obține în creier prin compararea diferențelor de intensitate și timp recepționate de fiecare ureche (Kelly, 1991). Timpul și intensitatea sunt legate de frecvența sunetului care trebuie localizat. Durata de timp este determinată de distanța dintre cele două urechi, de viteza sunetului și de localizarea sursei sunetului. Când sursa sunetului este localizată în fața sau în spatele capului, sunetul ajunge la cele două urechi simultan, diferența de durată



fiind zero. Când sursa se află la  $90^\circ$  în dreapta sau în stânga, intervalul interaural are o valoare maximă de aproximativ 50  $\mu$ s (Konishi și colab., 1988).

Autorii menționați arată că neuronii care detectează diferențele de timp interaurale sunt localizați în nucleul laminar, parte a căii auditive centrale din bulbul creierului de pasăre. Acest nucleu bilateral primește fibre de la nucleul cohlear de fiecare parte și este organizat tonotopic printr-un număr de izofrecvențe, în care neuronii și fibrele au frecvențe caracteristice. Neuronii din zonele izofrecvente acționează ca detectori coincidenți pentru integrarea inputurilor provenite de la fibrele cu aceeași frecvență, dar la intervale diferite de timp.

Aici, timpul și frecvențele sunt cartate de-a lungul axelor ortogonale ale căilor legate de timp.

Neuronii nucleului principal legați de aceste căi sunt excitați de stimulii auriculari controlaterali și inhibați de stimulii auriculari ipsilaterali.

Când ambele urechi sunt stimulate în aceeași măsură, apar răspunsuri minime în celulele postsinaptice. Când amplitudinea sunetului este mai mică la nivelul unei urechi, neuronii de partea respectivă răspund datorită faptului că inputul din partea opusă rămâne același, în timp ce inhibiția scade (Carr și Konishi, 1988).

În creierul mamiferelor există căi similare de intensitate și de timp.

Axonii nucleilor cohleari se proiectează în numeroși nuclei auditivi din trunchiul cerebral, unde există posibilități multiple de interconectare cu diferiți nuclei de legătură.

Axonii celulelor nucleilor cohleari emerg de-a lungul a trei căi: stria acustică dorsală, stria acustică intermediară și corpul trapezoid.

Calea cea mai importantă este corpul trapezoid. Ea conține fibre destinate pentru nucleul olivar superior situat de ambele părți ale trunchiului cerebral. Oliva superomedială localizează sunetul pe baza diferențelor de timp interaurale. Acest nucleu se compune din neuroni sub formă de fus cu o dendrită laterală și una medială și primește inputuri de la nucleul cohlear ipsilateral și controlateral. Celulele binaurale din oliva superomedială sunt foarte sensibile la diferențele de fază dintre tonurile continui prezentate celor două urechi.

Oliva superolaterală este legată de diferențierea interaurală a intensității sunetelor (Manley și colab., 1988; Oertel și colab., 1988).

Axonii care iau naștere din nucleul olivar superior se alătură axonilor încrucișați și neîncrucișați ai nucleului cohlear, pentru a forma lemniscul lateral. Astfel, în sistemul nervos central ajung în fiecare hemisferă inputuri auditive bilaterale, iar lezarea unei singure căi auditive centrale nu cauzează nici o tulburare monoaurală.

Pe traseul lemniscului lateral, unele fibre fac sinapsă cu nucleul lemniscal lateral. Și aici există încrucișări de fibre, care formează comisura lui Probst. După încrucișare, toate fibrele lemniscului lateral fac sinapsă în coliculii inferiori. Celulele coliculului inferior aranjate tonotopic primesc inputuri binaurale. Majoritatea celulelor coliculului inferior trimit axoni la corpul geniculat medial de aceeași parte. La rândul lor celulele corpului geniculat medial trimit axoni la

cortexul auditiv primar din girusul temporal superior (aria Brodmann 41 și 42). Cortexul auditiv primar conține numeroase hărți tonotopice, care fac parte din spectrul frecvenței. Ele sunt analoage reprezentărilor multiple ale periferiei din cortexul somatic senzorial și vizual. Diferitele pături ale cortexului auditiv stabilesc conexiuni cu alte regiuni ale creierului, într-o manieră similară cu a altor arii corticale primare. De exemplu, stratul IV este stratul input, stratul V trimite proiecții retrograde către nucleul geniculat, iar stratul VI trimite proiecții retrograde către coliculul inferior.

Brugge și colab. (1973) au constatat că acest cortex auditiv este organizat în coloane funcționale asemănătoare celor din cortexul somatic senzorial și vizual. Celulele binaurale sunt adunate în două grupuri columnare alternative; coloane de însumare și coloane de supresie. Acestea se întind de la suprafața pială până la substanța albă subiacentă. Majoritatea celulelor dintr-o coloană dispun de interacțiuni binaurale.

În coloanele de însumare, răspunsul celulelor la inputurile binaurale sunt mai mari decât la inputul nonaural. În coloanele supresive inputul provenit de la o ureche este dominant, iar răspunsul unei celule la un input provenit de la urechea dominantă este mai mare decât inputul binaural.

Aceste coloane pot fi puse în legătură cu harta corticală spațială a localizării sunetului.

Cortexul auditiv are importante conexiuni colaterale. Zonele care primesc conexiuni caldase sunt amestecate cu zonele care nu primesc astfel de conexiuni. Cele două tipuri de zone se alătură într-o manieră similară coloanelor de dominanță oculară din cortexul vizual. Astfel, ele pot reprezenta subdiviziunea anatomică de interacțiune a coloanelor binaurale. Deoarece inputurile excesive de la fiecare ureche se duc în ambele hemisfere, lezarea unilaterală a cortexului auditiv nu disrupe în mod dramatic percepția frecvenței sunetelor. Totuși, ea afectează abilitatea de localizare a sunetelor în spațiu. Fiecare hemisferă este legată în principal de localizarea sunetelor venite din partea opusă. Pentru localizarea poziției sursei sunetului, cortexul auditiv utilizează semne de diferențiere interaurală a intensității și timpului sunetului primit.

Numai leziunile întinse ale cortexului auditiv afectează abilitatea oricărei extinderi semnificative. Din acest punct de vedere, cortexul auditiv diferă de cortexul vizual primar, unde și leziunile mici produc notabile deficite de vedere.

În afara ariilor corticale, importante pentru reprezentarea și localizarea frecvenței sunetelor, cortexul cerebral uman conține arii funcționale în lobii frontal și temporal (arile Broca și Wernicke) legate de perceperea sunetelor vorbirii. Funcția vorbirii este specifică creierului uman și de aceea nu este evidentă atunci când un model animal este utilizat pentru studierea interacțiunii neuronilor care stau la baza percepției vorbirii. Mașinăria neurală de echolocalizare a liliacului utilizează sisteme (semne) ca pentru vorbire. Liliacul localizează victima prin emiterea sunetelor și analizarea ecoului acestor sunete. Suga și colab. (1988) au efectuat un studiu amănunțit al căilor neurale centrale implicate în echolocație și au constatat că sunetele emise de acholocația liliacilor au două componente principale: 1) o



componentă cu frecvență constantă, similară formării sunetelor vocale și 2) o componentă modulatorie de frecvență similară schimbării frecvențelor din coloane.

Frecvența sunetelor se modifică ca rezultat al mișcării sursei sau a receptorului. Această distorsionare Doppler a frecvențelor este întâlnită în viața de toate zilele la zgomotul produs de un automobil, care crește când se apropie și scade când se îndepărtează.

Cortexul cerebral al liliiecilor este compus din arii distincte, care deosebesc frecvențele constante de frecvențele modulate, componentele unui sunet emis și ale ecoului acestuia. Neuronii din ariile cu frecvență constantă răspund selectiv la combinații de două frecvențe: o frecvență constantă din sunetul emis și ecoul modificat Doppler. Neuronii din aceste arii sunt organizați în benzi conform frecvenței din componenta emițătoare. Neuronii din fiecare bandă sunt excitați de componentele echo, ce diferă puțin ca frecvență de distorsiunea Doppler produsă de mișcare.

Neuronii ariei de modulare a frecvenței răspund numai la o pereche de sunete modulatorie de frecvență separate de un interval de timp de 0,4 și 18ms. Acești neuroni au rolul de a detecta intervalul dintre timpul emiterii sunetului și cel de recepție a ecoului. Astfel, ca și în cazul vederii și al senzației somatice, creierul are căi paralele pentru prelucrarea informației auditive, iar aceste căi se proiectează în ariile cortexului care prelucurează numeroase aspecte ale sunetului.

Unele arii din creierul primatelor primesc informații care privesc atât frecvența, cât și localizarea sunetului, ambele critice pentru percepția muzicii. Există date nete care arată că cortexul cerebral al liliacului include arii în care sunt reprezentate combinații armonice ale frecvențelor. Deși în creierul uman nu au fost detectate astfel de celule, ele ar constitui detectori ideali pentru multiplele frecvențe care aparțin vocii umane.

În afara căilor paralele, sistemul auditiv posedă și un set extensiv de conexiuni feedback. După cum am văzut, unele celule din cortexul auditiv trimit axoni retrograzi către nucleul geniculat medial și coliculii inferiori. La rândul lor, coliculii inferiori trimit fibre recurente către nucleul cohlear. O îngrămădire de celule din apropierea complexului olivar superior dă naștere unor mănunchiuri eferente olivocohleare, ce se termină fie direct pe celulele păroase ale cohleei, fie pe fibrele aferente pe care le inervează. Aceste conexiuni prezintă importanță pentru reglarea atenției către anumite sunete prin modularea mecanismului de transducție din organul lui Corti (Kellz, 1991).

Putem astfel afirma că receptorii din urechea internă, celulele păroase, acționează ca niște amplificatori miniaturali, fiecare sunet mecanic provocând un răspuns electric maxim atunci când undele lichidiene din urechea internă vibrează cu o frecvență particulară. Celulele păroase reprezintă filtre ale frecvențelor așezate spațial în cohlee: cele pentru frecvențe înalte ocupă partea de jos, iar cele pentru frecvențe joase ocupă partea de sus a apexului. Transducția senzorială în influxuri ionice are loc în organul lui Corti, unde celulele ciliate interacționează cu elementele de susținere și cu undele lichidiene. Acest organ se află sub controlul dinamic al creierului care îl adaptează pentru sunete de interes particular.

Codul semnal apare inițial la nivelul sinapsei dintre celulele ciliate și fibrele nervului auditiv. Utilizând codul digital al potențialelor de acțiune, nervul dă profilul inputului sonor în care este inclus aspectul frecvențelor, faza și amplitudinea. Dată fiind complexitatea informațiilor encodeate, nu este surprinzător faptul că acest cod nu este înțeles complet. Este totuși clară existența unei relații strânse între localizarea fibrelor nervoase care inervează cohleea și frecvențele caracteristice ale acestora. Astfel, fiecare fibră răspunde cel mai bine la o bandă foarte îngustă de frecvențe, dar majoritatea sunt excitate, într-o anumită măsură, de o bandă largă de frecvențe.

În creier, inputurile celor două urechi sunt combinate de către căile ascendente care traversează extensiv linia mediană. Căile separă informația cu privire la timpul și intensitatea semnalelor, iar dispoziția binaurală localizează sunetele. Informația este trimisă ascendent, în paralel la cortexul auditiv, unde se cartează timpul, intensitatea și frecvența sunetelor.

Diversivitatea ariilor separate din cortexul auditiv reflectă multitudinea sarcinilor pe care acestea le au de îndeplinit în percepția sunetelor complexe.

Ca și în cortexul vizual în care forma, culoarea și stereopsia sunt prelucrate în arii separate, tot așa și în cortexul auditiv există regiuni funcționale separate, care descompun vorbirea în componente, pentru a genera percepția localizării, intensității și direcției sunetelor.

În rezumat, sistemul auditiv (Webster și Garey, 1990) are la periferie un receptor auditiv (organul Corti), în compoziția căruia intră trei sau patru rânduri de celule senzoriale externe și un rând de celule senzoriale interne dispuse în spirală.

Primele permit reglarea sensibilității urechii, în timp ce ultimile analizează sunetul. Structura anatomică a cohleei face ca sunetele joase să stimuleze celulele din partea superioară a spiralei, iar sunetele înalte pe cele din parte inferioară. Celulele senzoriale sunt conectate la neuronii din ganglionul spiral, ai căror axoni ajung în nucleii cohlear ventral și dorsal.

Osen (1970) a demonstrat existența unei organizări tonotopice la nivelul nucleului cohlear și a conexiunilor acestuia în sensul că sunetele mai înalte sunt reprezentate dorsal.

Nucleul cohlear ventral, situat pe partea ventrolaterală a pedunculului cerebelos inferior, primește un număr mare de fibre ascendente din nervul cohlear. Nervul cohlear dorsal, situat dorsal de peduncul, formează pe partea laterală a ariei vestibulare a ventriculului patru tuberculul auditiv, care primește câteva fibre descendente din nervul cohlear. Căile auditive ale trunchiului cerebral și ale cortexului, situate după nucleii cohleari, integrează informațiile provenite de la ambele urechi, astfel încât numai leziunile bilaterale pot antrena deficite clinice.

Multe din fibrele ascendente ale nucleului cohlear ventral (fibrele celui de-al doilea neuron al căii auditive) se termină în nucleul dorsal al corpului trapezoid, fie ipsilateral, fie controlateral. De aici, traiectul ascendent al fibrelor terțiare poartă numele de lemnisc lateral.

Fibrele controlaterale se comportă la fel. Fibrele eferente ale nucleului cohlear dorsal au conexiuni similare. Fiecare lemnisc terminal conține neuroni



terțieri din ambele părți. În traiectul lor ascendent către mezencefal unele din aceste fibre sau colateralele lor, fac sinapsă cu un mic grup de celule din nucleul lemniscului lateral.

Ferraro și Minckler (1977) au estimat fibrele lemniscului lateral uman la 203.000, în dreapta și la 185.000, în stânga.

În acest context, căile eferente ale nucleilor cohleari sunt reprezentate în principal de corpul trapezoid, care încrucișează linia mediană, și de o cale dorsală, mai puțin dezvoltată, vizibilă pe planșeul ventriculului patru: striile acustice. Corpul trapezoid ajunge în oliva superioară, iar striile acustice în coliculul inferior. Totuși, numai unele fibre ale lemniscului lateral se termină în coliculul inferior, în timp ce altele îl ocolesc, intră în brahium-ul inferior și de acolo în corpul geniculat medial, care trimite proiecții în cortexul auditiv (ariile 41, 42 și 22)

Nucleii olivei superioare au ca funcție principală localizarea sursei sonore, utilizând două indicii: intervalul care separă sosirea sunetului la urechea cea mai apropiată de sursă în raport cu urechea contralaterală și diferența de intensitate a sunetului între cele două urechi. În partea centrală a coliculului inferior au fost demonstrate o tonotopie și o hartă a originii spațiale a stimulilor.

Fibrele comisurale leagă cele două căi auditive la nivel colicular inferior. Reflexele auditive sunt mediate de coliculii inferiori și superiori de unde se propagă mai departe pe calea tracturilor tectobulbar, tectospinal și a fasciculului longitudinal medial.

Aria auditivă primară (aria 41 și 42 Brodmann) este de talie mică la om și nu ocupă decât o parte a circumvoluțiilor transverse Henschl. Ea este înconjurată de o zonă mai puțin granulară numită parakonicortex. În aria auditivă primară a fost evidențiat, prin scanare PET, un aspect tonotopic (Lauter și colab., 1985).

Sistemul auditiv cuprinde și fibre descendente (componentă eferentă a căii acustice) provenite din neuronii complexului olivar superior, care formează fasciculul olivocohlear. El se termină pe celulele păroase ale organului cohlear spirat și are rolul de a controla sensibilitatea urechii și de a filtra informațiile sonore.

*Aria auditivă primară (A<sub>1</sub>)* primește fibre geniculotemporale de la corpul geniculat medial iar proiecțiile se fac tonotopic. Sunetele grave se duc anterolateral iar cele acute ajung posteromedial. Cu toate acestea, este dificil a se atribui unui neuron specificitate pentru o anumită frecvență. Totuși, unii neuroni răspund numai la stimularea binaurală, iar răspunsurile monaurale pot fi clasificate ca dominant ipsilaterale, controlaterale sau echidominante.

Rostral de A<sub>1</sub> se găsește o mică zonă corticală a cărei porțiune caudomedială răspunde intens la frecvențe înalte iar porțiunea rostrală răspunde la frecvențe joase. Această zonă împreună cu A<sub>1</sub> formează, la maimuțe, zona R sau cortexul auditiv central. Straturile I, II și III din câmpul 41 nu au limite precise dar sunt mai groase și mai bogate în coloane verticale decât cele din scoarța vizuală. În straturile profunde găsim numeroase celule cu dublu buchet precum și un tip special de neuroni cu ramificații dendritice subțiri și foarte lungi. Axonul lor pătrunde în substanța albă. Coloanele verticale subțiri ale acestui câmp sunt asemănătoare cu firele de ploaie (Andronescu, 1998).

*Aria auditivă secundară* ( $A_2$ ) situată ventral de  $A_1$  este constituită parțial din câmpul 42 și câmpul 22. Aici tonotopia este inversă celei din aria primară și cu prag mai înalt. Tipul parietal al câmpului 42 are 6 straturi și un aspect de konicortex. Aici întâlnim, în stratul 3, un mare număr de celule piramidale iar coloanele verticale voluminoase au un aspect de tuburi de orgă. Porțiunea caudală a corpului geniculat medial proiectează în stratul 4 iar restul în corpul geniculat medial în straturile 3 și 4. Această arie prezintă importanță în discriminarea zgomotelor și a vocilor.

Câmpul de asociere 22 are conexiuni cu ariile 41, 42, cu ariile 6, 8 și 44 din lobul frontal și cu lobul occipital, parietal și insula

*Aria auditivă terțiară* este reprezentată de câmpurile 20 și 21. Câmpul 20 are rol mnemonic, în recunoașterea sunetelor, și în înțelegerea cuvintelor și melodiilor. Câmpul 21 are rol în atenția auditivă

## Cortexul vestibular

Aria vestibulară nu are localizare precisă, dar Fredrikson și colab. (1960) și Deeke (1974) au situat-o în câmpul 2, la joncțiunea cu câmpul 5. Massopust și colab. (1960) afirmă că este o cale complet încrucișată și organizată somatotopic.

Alți cercetători o localizează rostral de aria auditivă în girusul temporal superior, deoarece lezarea acestei regiuni provoacă vertije spontane și deviația conjugată a ochilor și capului. În această situație, aria vestibulară și cea de origine a fibrelor temporopontine au rol în reglarea motricității cerebeloase. În circumvoluțiile frontale superioară și mijlocie, la nivelul zonei de origine a fibrelor corticale extrapiramidale s-a mai descris o arie a cărei lezare duce la afectarea noțiunii de poziție și la apariția apraxiei mersului.

Fibrele vestibulotalamice care au fost evidențiate via fasciculul longitudinal medial își au originea în nucleii vestibulari medial și superior.

## Cortexul gustativ

Mediul înconjurător bombardează continuu organismul cu diverse molecule, care prin intermediul gustului și mirosului ne aduc informații importante privind obiectele și substanțele pe care le utilizăm zilnic.

Aceste simțuri procură date legate de aspectele plăcute și neplăcute ale alimentelor și băuturilor care trebuie consumate sau evitate. Prin urmare, ca și sensibilitatea somatică, vederea și auzul, mirosul și gustul ne dau lămuriri cu privire la lumea externă. În plus, ele conectează percepția cu informația necesității satisfacerii mediului intern privind foamea, setea și sațietatea.

Filogenetic, gustul și mirosul sunt cele mai primitive sensibilități.

Ele au acces la circuitele neurale care controlează stările emoționale ale corpului și unele date de memorie. Deși mirosul și gustul au sisteme morfologice distincte, adesea senzația de gust și miros funcționează în comun. De exemplu,



degustătorii de vinuri pot distinge peste 100 de componente de gust pe baza combinării buchetului cu aroma.

Metodologiile avansate au arătat că mirosul și gustul utilizează mecanisme de transducție similare celorlalte celule senzoriale receptoare.

Astfel, sistemele naturale pentru gust și miros pot discrimina mii de mirosuri și gusturi. Această selectivitate este obținută prin activarea receptorilor care recunosc structuri chimice discrete. Celule receptoare pentru gust transformă stimulii chimici solubili în semnale electrice, care sunt apoi transmise la creier. Celulele receptoare, epiteliale grupate în organe senzoriale numite muguri gustativi sunt localizate în papilele epiteliului din limbă, palat, faringe epiglotă și în treimea superioară a esofagului. În regiunile din afara limbii, mugurii gustativi nu sunt localizați în papile. La om există trei tipuri de papile: fungiforme, foliate și circumvalente. Fiecare papilă fungiformă conține unul până la cinci muguri gustativi.

Papilele fungiforme, în număr de câteva sute, se află în cele două treimi anterioare ale limbii. Papilele foliate se găsesc pe marginea posterioară a limbii, iar cele circumvalente sunt localizate în treimea posterioară a limbii. Papilele foliate și circumvalente conțin mii de muguri gustativi.

În afara celor 50-150 de celule receptoare, fiecare mugur gustativ conține alte două tipuri de celule: celule bazale și celule de suport.

Celulele bazale (rotunde) sunt localizate la baza mugurelui gustativ și acționează ca interneuroni sau ca celule tranziționale. Celulele de suport au proprietăți gliale, constituind suportul trofic și structural al celulelor receptoare primare.

Mugurii gustativi implantați în epiteliul limbii sunt conectați cu suprafața acesteia printr-o deschidere denumită por gustativ. Micile procese (microvilozități) se extind prin porul gustativ de la suprafața apicală a fiecărei celule, la suprafața limbii. Microvilozitățile sunt părți ale celulelor receptoare expuse în cavitatea orală, în care are loc transducția senzorială. Suprafața bazolaterală a celulelor receptoare este izolată de cavitatea orală prin joncțiuni strânse, ce conectează celulele receptoare în regiunea lor apicală. Fiecare celulă receptor este inervată la baza sa de ramul periferic al unei fibre primare aferente. Fiecare ram al fibrei aferente inervează numeroase papile și numeroși receptori celulari (muguri gustativi). Astfel, activitatea electrică înregistrată dintr-o singură fibră aferentă reprezintă inputul mai multor celule receptor. Contactele dintre celulele receptor și fibrele senzoriale posedă caracteristicile sinapselor chimice. Mugurii gustativi din cele două treimi anterioare ale limbii sunt inervați de aferentele care trec prin coarda timpanului și fac parte din nervul facial.

Corpul acestor celule se află în ganglionul geniculat. Mugurii din treimea posterioară a limbii sunt inervați de ramurile periferice ale neuronilor senzoriali derivați din ganglionul petros, ce trec în ramura linguală a nervului glosfaringian.

Mugurii gustativi de pe palat sunt inervați de ramul mai mare al petrosului superficial al nervului cranian VII (facial), iar mugurii de pe epiglotă și esofag sunt inervați de ramul laringeal superior al nervului cranian X (nervul vag). Fiecare din

acești nervi au și aferențe somatosenzoriale, ce inervează regiunile limbii din jurul mugurilor gustativi. Prezența aferențelor somatosenzoriale face dificilă deosebirea senzației pure de gust transmisă de fibrele nervilor gustativi de informația adusă de alte clase de fibre senzoriale. În timpul răspunsurilor fiziologice normale semnalele generate sunt mici, subprag, dar celulele receptoare pentru gust produc potențialele de acțiune. Astfel, informația adusă inițial în potențiale receptoare gradate prin creșterea nivelului  $Ca^{2+}$  intracelular duce la eliberarea transmițătorului chimic și la generarea potențialelor de acțiune la nivelul aferențelor senzoriale care inervează mugurii gustativi.

Reprezentările gustului se află în talamus și cortex

De la mugurii gustativi informația gustativă este transmisă cortexului cerebral prin intermediul unui releu talamic. Spre deosebire de celelalte căi senzoriale în care sunt incluse și căile somatosenzoriale ale limbii, majoritatea fibrelor gustative se proiectează în talamus prin căi neîncrucșate. Prima sinapsă a sistemului gustativ se găsește la nivelul mugurelui gustativ. Fiecare aferență senzorială inervează mai multe celule receptoare, iar fiecare celulă receptor primește inputuri de la mai multe fibre aferente (Norgren, 1984).

Fibrele senzoriale care primesc inputuri de la celulele gustative intră în structura nervilor cranieni VII, IX și X, care formează în bulb tractul solitar. Toate fibrele aferente fac apoi sinapsă pe neuronii unei coloane subțiri din partea laterală și rostrală a complexului nuclear solitar, numit nucleu gustativ. Complexul nuclear este un important nucleu releu, visceral. Neuronii din regiunea ventrală primesc informații aferente de la intestin, plămân și sistemul cardiovascular. Neuronii nucleului gustativ se proiectează prin tractul tegmental central în talamus, unde se termină în celulele mici (regiunea parvocelulară) a nucleului medial posterior ventral. Aici, celulele pentru gust sunt grupate separat de neuronii altor modalități senzoriale ale limbii. Neuronii din regiunea parvocelulară se proiectează în două regiuni ale cortexului cerebral: regiunea gustativă a girusului postcentral (aria Brodmann 3b) și fața internă a operculului frontal și a insulei.

Regiunea corticală senzorială care primește inputuri gustative se întinde ventral și rostral de reprezentarea somatosenzorială a limbii.

Variația activității receptorilor generează paternuri distincte de activitate în nervul aferent. Există date care demonstrează prezența diferitelor tipuri de receptori ce răspund la patru categorii de stimuli de bază, fiecare cu distribuții diferite la nivelul limbii și cu mecanisme distincte de transducție (Rolls, 1989; Royer și Kinnamon, 1991).

Segregarea spațială a subtipurilor receptoare din limbă este păstrată și în nucleul gustativ, talamus și cortex (Ozeki și Sato, 1979; Schmale și colab., 1990). În acest mod poate fi menținută prelucrarea individuală a modalităților gustative atât la nivelul receptorilor periferici, cât și în locurile de proiecție centrală.

Experiențele privind răspunsul la gust au dus la emiterea a două teorii: teoria căilor specifice și teoria paternului de codare. 1) Teoria căilor specifice susține existența unei singure clase de neuroni capabili să semnaleze calitatea de bază a unui gust. 2) Cealaltă teorie implică principiul paternului de codare al



fibrelor încrucișate. Conform acestei teorii, neuronii centrali compară inputurile de la o întreagă populație de fibre aferente, fiecare răspunzând preferențial la anumiți stimuli, dar având o sensibilitate semnificativă și la alți stimuli. Aici nu este clar modul în care receptorii diferiți sunt reprezentați de celule gustative individuale. Totuși, există divergențe substanțiale de inervare a celulelor gustative de către axoni aferenți. Înregistrările făcute la hamster din coarda timpanului au relevat că unele fibre singulare răspund la stimuli cu calități diferite. De exemplu, există fibre care răspund primar la sărat și la acru, iar fibrele care răspund primar la acru răspund și la amar (Smith și colab. 1983; Kinnemon, 1987 și 1988). Astfel, fiecare senzație este transmisă central prin seturi de fibre ce răspund la mai mult decât la o singură modalitate gustativă. Aceste rezultate sugerează că percepția fiecărui gust rezultă din compararea paternului de activare a tuturor fibrelor din populația respectivă (Dodd și Castelluci, 1991).

Alți cercetători sugerează că ambele teorii sunt corecte. Codificarea centrală a unui stimul rezultă din compararea activității din linia preferată a acelui stimul cu activitatea liniilor altor calități gustative. Astfel, codificarea gustului se aseamănă cu codificarea altor sisteme senzoriale. În sistemul vizual, celulele corticale au o anumită axă de orientare, dar ele răspund și la alte orientări. Ultima treaptă în prelucrarea stimulilor vizuali trebuie să implice compararea activității diferitelor celule cu orientări diferite. Cei trei fotopigmenți din fotoreceptori sunt, de asemenea, larg armonizați cu spectrul vizual. Discriminarea culorilor derivă din prelucrarea centrală a outputurilor celor trei sisteme de conuri. Și recunoașterea formei în absența culorii depinde de contrast.

Prin urmare, mecanismul de codificare a gustului se raliează principiului general al prelucrării senzoriale.

Gustul și mirosul exercită un control profund asupra ingestiei de alimente și apă. În anul 1942 Richter a descoperit foamea specifică.

Autorul a demonstrat că animalele posedă abilități înnăscute de a compensa deficiențele alimentare prin selectarea hranei care conține elementele nutritive lipsă. Cea mai semnificativă a fost descoperirea foamei înnăscute pentru sare. Acest fapt a fost constatat la un copil al cărui cortex adrenal fusese distrus de către o tumoră. Ca rezultat, copilul a pierdut abilitatea de a secreta hormonul cortical adrenal, care are rol de a menține balanța normală de sare, provocându-i constant privare pentru acest produs. Prin acces alimentar nelimitat, Richter a constatat că acel copil își compensa deficitul respectiv printr-o poftă extraordinară pentru sare. O atracție similară a constatat-o la șobolanii ale căror glande adrenale au fost extirpate chirurgical. Contreras (1977) a arătat că după extirparea glandelor adrenale receptori pentru sare din limbă devin mai puțin sensibili.

Garcia și colab. (1974) au expus șobolanii la doi stimuli: un stimul auditiv (un ton) și un stimul gustativ. Ei au asociat cei doi stimuli cu o substanță toxică, care produce greață. Deși substanța respectivă a fost asociată cu ambii stimuli, numai gustul ei provoca starea de aversiune. Ulterior, animalele evitau invariabil medicamentele cu acel gust particular.

Aceste experimente ilustrează că animalele au elaborate mecanisme care le dau posibilitatea asocierii mirosului și gustului (nu și a altor modalități senzoriale) cu greața și cu maladiile stomacale.

Avantajele acestei abilități de învățare specifică sunt evidente.

Animalele care supraviețuiesc unor otrăviri cu alimente al căror gust este dinstinctiv, nu le vor mai mânca. Învățare: evitării alimentelor nu este specifică animalelor inferioare, ci apare și în viața noastră cotidiană (Seligman și Hager, 1972).

Prin urmare, gustul și mirosul sunt fascinante din cauza încărcăturii lor perceptuale, emoționale și nutriționale cu rol important în reglarea funcțiilor corpului.

Studiile moderne relevă că gustul și mirosul nu diferă de celelalte simțuri. Sistemul de transducție a stimulilor senzoriali implică activarea membranei receptorilor care dinamizează întreaga varietate de mesageri secunzi intracelulari. Acești mesageri secunzi sunt similari cu cei utilizați de celelalte celule senzoriale.

Canalele ionice exprimate de celulele receptoare olfactive și gustative sunt similare cu cele exprimate de alți neuroni senzoriali.

Prin urmare, întreg sistemul senzorial posedă aceleași principii de organizare și prelucrare a informației.

## Cortexul olfactiv

Capacitatea discriminativă a sistemului olfactiv este extraordinară.

Omul poate distinge mii de substanțe chimice mirositoare și poate detecta odorante la concentrații de câteva fracțiuni per trilion.

Sensibilitatea mirosului (olfacția) este transmisă de receptorii profunzi din cavitatea nazală (epiteliul olfactiv), care acoperă 5cm<sup>2</sup> din recesul posterior dorsal al acesteia. Odorantele absorbite de pătura mucoasă care acoperă receptorii celulari difuzează către cili neuronilor receptori sau acționează împreună cu proteinele de legătură din mucoasă.

A fost identificată o proteină specifică țesutului nazal, care este cunoscută sub numele de proteină olfactivă de legătură. Secretată în vârful cavității nazale de glanda nazală laterală ea se leagă de variate structuri ale odorantelor.

Proteinele olfactive de legătură aparțin unei familii proteice ce acționează în micile molecule lipofilice (Finger și Silver, 1987; Kauer, 1987; Reed, 1990). În această grupă sunt incluse și moleculele proteice care leagă și transportă retinolul la pigmentul epiteliului și la fotoreceptori. Și proteinele glandelor salivare ale lui von Ebner aparțin acestei familii. Prin analogie cu proteinele care leagă retinolul și a altora din această familie, proteinele olfactive de legătură captează odorantele, ce intră în cavitatea nazală și le conectează cu receptorii. Pe de altă parte, proteinele olfactive de legătură acționează și ca filtre de protejare a neuronilor olfactivi expuși la concentrații odorante excesive.



Aplicarea odorantelor pe neuronii olfactivi generează depolarizarea potențialelor receptorilor și creșterea gradată a frecvenței potențialelor de acțiune. Potențialul receptorilor rezultă din deschiderea canalelor ionice specifice pentru  $\text{Na}^+$ . Se produce, deci, un mecanism de transducție a sistemului olfactiv prin implicarea nucleotidei ciclice a celui de al doilea mesager. Un mare număr de odorante, dar nu toate, cresc nivelul cAMP prin întărire activității unei adenil ciclaze din epiteliul olfactiv (Krupinski și colab., 1989). Cea mai mare stimulare a ciclazei este produsă de fructe, flori și agenți erbacei, în timp ce stimulii putrizi sunt mult mai slabi.

Reed (1990) a clonat din epiteliul olfactiv o proteină legată de GTP din familia Gs (denumită Golf) și o adenil ciclază olfactivă specifică. Ambele proteine se găsesc în concentrație mare în cili (Jones și Reed, 1989).

Buch și Axel (1991) au descoperit o întreagă familie de gene în epiteliul olfactiv, care encodează proteine receptor sugerând că acestea sunt cuplate cu proteina G. Probabil că aceste gene encodează receptori olfactivi. Canalele olfactive clonate de Reed (1990) traversate direct de cAMP și cGMP sunt asemănătoare canalelor de  $\text{Na}^+$  implicate în fototransducție.

Unele odorante pot interacționa cu receptori care activează căile celui de-al doilea mesager, altul decât cAMP. Aplicarea unui analog al mentolului pe preparatul de cili olfactivi provenit de la șobolan duce la creșterea rapidă și tranzientă a cAMP. Acest fapt susține ideea conform căreia cAMP-ul mediază răspunsurile la unii odoranți ai vertebratelor.

Aplicarea pe antena insectelor a unui feromon, periplanion B, produce o creștere tranzitorie a inozitol trifosfatului ( $\text{IP}_3$ ) fără a modifica nivelul cAMP. Astfel, la diferite organisme sau în răspunsul aceluiași organism la diferite odorante pot fi implicați în transducția olfactivă mesageri secunzi diferiți. În vederea colorată, trei conuri pigmentate sunt suficiente pentru transmiterea miilor de nuanțe pe care noi le putem discrimina

Descoperirea unei familii largi de potențiali receptori olfactivi sugerează că sute de receptori recunosc un singur sau câțiva odoranți. Nu s-a stabilit dacă neuronii olfactivi individuali au receptori multipli și nici nu se cunoaște cât de largă este gama unui receptor pentru un odorant individual. Studiile electrofizologice arată că celulele receptoare olfactive singulare pot răspunde la mai multe substanțe odorante. Totuși, neuronii individuali exprimă numai un număr mic de molecule receptoare distincte.

Deși răspunsurile la odoranți specifici apar pe întreaga suprafață epitelială, măsurarea răspunsurilor olfactive în diferite regiuni ale acesteia combinată cu mapping-ul 2-deoxiglucosei relevă arii cu sensibilitate mai înaltă pentru anumite odorante individuale. De exemplu, butanolul activează cel mai bine neuronii din regiunea anterioară a mucoasei, în timp ce limonenele activează preferențial neuronii mucoasei posterioare (Shepherd, 1988).

Când intensitatea unui stimul crește, este posibil ca aceasta să ducă la activarea receptorilor olfactivi din jurul ariei cu sensibilitate maximă, care anterior

erau tăcuți, inactivi. Astfel, creșterea concentrației odorantului duce la activarea unor celule receptoare adiționale și la schimbarea paternului general de activare.

Cortexul olfactiv are o organizare topografică mai puțin precisă.

Micii axoni nemielinizați ai neuronilor olfactivi se termină în bulbul olfactiv, primul releu al sistemului olfactiv. În bulbul olfactiv există arii sinaptice specializate numite glomeruli. La acest nivel, axonii primari fac sinapsă pe arborele dendritic al celulelor mitrale și pe micile celule ciliate, celule output principale ale bulbului (Carpenter și Sutin, 1983).

Axonii celulelor mitrale și ciliate se proiectează prin tractul olfactiv către ariile olfactive secundare ale cortexului olfactiv. Această regiune corticală este împărțită în cinci părți: 1) nucleul olfactiv anterior, care conectează cei doi bulbi olfactivi printr-o porțiune a comisurii anterioare; 2) tuberculul olfactiv; 3) cortexul piriform, principala regiune de discriminare olfactivă; 4) nucleul cortical al amigdalei și 5) aria entorinală care la rândul său trimite proiecții la hipocamp.

Deși sistemele somatosenzorial și vizual au inputurile aferente organizate într-o manieră topografică precisă, în cazul proiecțiilor neuronilor olfactivi din regiunea mucoasei, care își au originea în bulbul olfactiv nu există o astfel de organizare. Cu toate acestea, bulbul olfactiv și centrii superiori sunt capabili să interpreteze diferite semnale de miros (Brand și colab., 1989 și Dodd și Castellucci, 1991).

Harta funcțională a proiecțiilor topografice ale neuronilor olfactivi poate fi stabilită prin autoradiografie cu 2-deoxiglucoză, după expunerea animalelor treze la diferite mirosuri. Această metodă arată că activitatea celulelor dintr-un glomerul specific crește ca răspuns la un anumit miros. Când concentrația unui odorant crește se activează și alți glomeruli, sugerând recrutarea și a grupului de celule cu prag înalt. Acest patern de distribuție a activității pare a transporta informația cu privire la moleculele odorante (Pfaff, 1985; Breer și colab., 1990). Circuitul local al bulbului olfactiv joacă un rol activ în prelucrarea informației olfactive, înainte ca aceasta să fie transmisă centrilor mai înalți. Înregistrările făcute la nivelul celulelor mitrale și ciliate arată că neuronii granulari și periglomerulari constituie circuite inhibitorii locale (Mathews, 1972; Steward și colab., 1979; Ottoson, 1983; Trotier și MacLeod, 1983; Kauer, 1988;).

Tuberculul olfactiv se proiectează pe nucleul dorsal medial al talamusului, care la rândul său se proiectează pe cortexul orbitofrontal implicat în perceperea conștientă a mirosului. În plus, există căi olfactive care ajung și în sistemul limbic (amigdală, hipocamp). Amigdala acționează ca centru de legătură între cortexul olfactiv, hipotalamus și tegmentum mezencefalic. Aceste căi limbice mediază componenta afectivă a mirosului. În contrast, proiecțiile talamo-neocorticale sunt implicate în percepția conștientă a mirosului. Persoanele cu leziuni traumatice, vasculare, tumorale etc. ale cortexului orbito-frontal nu pot discrimina mirosurile.

Acuitatea olfactivă variază enorm de la persoană la persoană. La indivizii fără anomalii evidente sensibilitatea olfactivă variază de mii de ori. Termenul de hiposmie (diminuarea sensibilității olfactive) se adresează diferitelor deficiențe ale



căilor olfactive, fibrozei chistice a pancreasului, maladiei Parkinson și insuficienței adrenale (Pfaff, 1985).

Anosmia specifică este o anomalie olfactivă comună care se referă la diminuarea percepției unui singur odorant sau a câtorva componenți ai acestuia, percepția pentru multe alte odorante rămânând normală. Anosmia generală sau anosmia se manifestă prin pierderea totală sau prin absența sensibilității mirosului.

Nervul olfactiv poate deveni inoperant datorită uneia sau mai multor cauze determinate de blocajul mecanic al căilor aeriene, datorită infecției, interferenței chimice cu receptorii olfactivi sau prezenței tumorilor. În plus, sensibilitatea mirosului poate diminua în timpul ultimilor decade ale vieții. De exemplu, pragul pentru detectarea mirosului lămâiei, gutuiei, portocalei este mult mai mare la persoanele în vârstă.

Halucinațiile olfactive cu mirosuri respingătoare (cacosmia) apar în cadrul crizelor epileptice uncinat. Acest simptom indică un debut focal cu origine în porțiunea medială și anterioară a lobului temporal, unde este localizat cortexul entorinal și piriform.

### **Concluzii privind structura și funcțiile cortexului posterior**

Zonele de proiecție topică nu sunt organizări statice, ci dinamice, produsele lor dobândind conținuturi și trăsături diferite, în funcție de caracteristicile situațiilor externe și de vectorii motivaționali ai organismului.

Zonele de asociație situate între câmpurile de proiecție ale analizatorilor posedă o organizare distinctă. În aceste zone, din punct de vedere citoarhitectonic, în prim plan se situează elementele adaptate și specializate în comutarea, corelarea și integrarea impulsurilor senzoriale modale. Acestea sunt îndeosebi celulele piramidale ale stratului III. Stimularea acestor zone determină procesele de excitație, care se difuzează pe o mare suprafață a scoarței cerebrale. Atunci când s-au constituit deja ansamblurile neuronale specializate, iradierea excitației la nivelul zonelor de asociație capătă un caracter selectiv, în sensul că sunt sensibilizate și activate sau conectate numai acele rețele logico-operaționale care se includ ca verigi componente în mecanismul de realizare a unui anumit act comportamental.

Spre deosebire de zonele primare, zonele de asociație secundare stabilesc un număr mai mare de comutări și circuite la nivelul instanțelor subcorticeale. Impulsurile aferente care vin de la organele de simț ajung la aceste zone trecând prin mai multe noduri comutative și sinaptice în cadrul nucleilor de asociație ai formațiunilor talamoencefalice. Complexitatea crescândă a proceselor de coordonare și integrare supraordonată a fluxurilor informaționale a dus la dezvoltarea unor zone de asociație de grad superior-terțiare, cuaternare - denumite și zone de „acoperire,, (Luria, 1973; Popper și Eccles, 1977). În regiunea posterioară a scoarței, aceste zone sunt situate în circumvoluțiile superioară și inferioară ale

lobului parietal, în circumvoluția temporală mijlocie și în porțiunea temporo-perieto-occipitală. În cadrul lor, ponderea principală revine substraturilor superior și mijlociu ale straturilor III și IV -formate din celule piramidale (de dimensiuni medii) și stelate. În raport cu zonele primare și chiar cu cele secundare, zonele terțiare și cuaternare stabilesc o rețea mult mai amplă de circuite și contacte comutative la nivelul formațiunilor subcorticale. La nivelul talamusului, se realizează conexiuni bilaterale cu straturile cele mai noi din punct de vedere filogenetic, adică cu cele de asociație, care mediază multiple comutări între nucleii talamici specifici. Prin intermediul acestor bogate conexiuni, zonele de acoperire dobândesc posibilitatea de reglare a funcțiilor de conducere și reflexe ale formațiunilor subcorticale nu numai în raport cu stimulii individuali situaționali, ci și cu sarcinile și obiectivele globale ale activității individului.

Ele asigură o coordonare și o integrare într-o serie dinamică unitară a activității analizatorilor vizual, auditiv și chinestezico-tactil.

Trebuie spus că în cadrul acestor zone, informația se sintetizează după criterii de esențialitate și generalitate, obținându-se constructe cognitive calitativ superioare, imagini perceptuale complexe multimodale, reprezentări de clase, de obiecte, scheme, concepte.

Neuronii care intră în compoziția zonelor de „acoperire” sunt aproape complet eliberați de funcțiile senzoriale specifice, fiind profilați pe reflectarea adecvată a raporturilor spațio-temporale și somatico-pragmatice dintre diverși stimuli și pe conectarea selectivă a informației prelucrate în desfășurarea fazică a comportamentului finalist (orientat).

După cum arată datele clinicii neurochirurgicale, singure, fără participarea zonelor primare de proiecție, zonele de „acoperire” ar fi incapabile de analiza și sinteza imaginii unor excitanți modali concreți vizuali, auditivi sau cutano-tactili. De aceea, ele nu pot substitui sau prelua, în caz de leziuni, activitatea zonelor primare. La rândul lor, nici zonele primare, luate izolat sau într-o relație simplă aditivă, nu pot compensa sau substitui activitatea zonelor de „acoperire”.

Trebuie presupus că zonele terțiare și cuaternare menționate mai sus nu efectuează toate în același timp aceleași operații. Este logic ca între ele să se producă o anumită delimitare și diviziune funcțională.

Aceasta reprezintă o nouă sursă generatoare de diversitate și complexitate în ansamblul activității cerebrale. Integrarea informațională care rezultă din interacțiunea diferitelor zone terțiare și cuaternare va avea trăsături calitativ superioare, în raport cu integrările realizate de fiecare dintre ele luate separat.

### **Particularități structural-funcționale ale zonelor corticale anterioare**

Sistemul senzorial ne dă reprezentarea internă a lumii externe.

Funcția majoră a acestei reprezentări este aceea de a extrage informația necesară ghidării mișcărilor care fac parte din repertoriul nostru comportamental. Aceste mișcări sunt controlate de un set de sisteme motorii ce ne permit să menținem echilibrul și postura, să mișcăm corpul, mâinile și ochii și să comunicăm prin vorbire și gesturi.



În contrast cu sistemul senzorial care transformă energia fizică în informație neurală, sistemul motor transformă informația neurală în energie fizică prin comenzile pe care le transmit cortexul cerebral, trunchiul cerebral și măduva spinării la mușchii scheletici. Mușchii traduc această informație în forță contractilă, care produce mișcări. După o perioadă de antrenament sistemul motor execută programul motor al unei activități mult mai ușor, aproape automat.

Mișcările comandate de sistemele motorii pot fi divizate în trei clase: mișcări voluntare, răspunsuri reflexe și paternuri motorii ritmice. Acestea diferă după gradul de complexitate și de control voluntar.

Mișcările voluntare sunt cele mai complexe și au trăsături caracteristice diferite. Astfel, ele pot fi intenționale, pot fi inițiate ca răspuns la un stimul extern specific sau pot fi voite. În al doilea rând, mișcările voluntare au un anumit scop, pot fi învățate și treptat perfecționate. Răspunsurile reflexe sunt cel mai puțin influențate de controlul voluntar. În general ele sunt rapide, stereotipe și involuntare.

Paternurile motorii ritmice (mersul, fuga, mestecatul) combină caracteristicile actelor voluntare cu cele reflexe. Numai inițierea și terminarea lor sunt voluntare. Fiecare mișcare pune în acțiune două seturi opuse de mușchi: agoniști și antagoniști. Dincolo de simpla contracție și relaxare sistemul motor are alte trei sarcini. Prima se referă la mai multe grupe musculare. A doua are în vedere ajustarea posturală a corpului în timpul diferitelor mișcări și în repaus. A treia trebuie să aibă în vedere mecanica motorie, adică aranjamentul mușchilor, oaselor și articulațiilor. Pentru integrarea corectă a acestor trei caracteristici în actele reflexe și voluntare, sistemul motor dispune de două caracteristici organizaționale: 1) sistemul motor primește informații senzoriale continue cu privire la evenimentele din jur, poziția și orientarea corpului și membrilor și gradul contracției musculare. Sistemul motor utilizează aceste informații pentru selectarea răspunsurilor corespunzătoare și pentru ajustarea mișcărilor următoare; 2) componentele sistemului motor au organizate nivelele ierarhice de control, iar fiecare nivel primește informații senzoriale relevante pentru funcționarea acestora. Astfel, nivelurile superioare legate de elaborarea strategiilor (selecția răspunsurilor corespunzătoare unui anumit scop) nu au nevoie de monitorizarea senzorială, moment cu moment, a detaliilor de răspuns. Monitorizarea senzorială a detaliilor este necesară la nivelele inferioare ale ierarhiei motorii. Funcționarea sistemului motor este intim legată de cea a sistemului senzorial. În anul 1963 Held și Hein au arătat că mișcarea pasivă a puilor de pisică, fără ca aceștia să poată interacționa cu mediul înconjurător, a dus la nedezvoltarea capacității de discriminare a importanței stimulilor vizuali. Vederea, auzul și receptorii de pe suprafața corpului ne informează despre localizarea obiectelor în spațiu și despre poziția noastră în cadrul acestuia.

Apoi, proprioceptorii musculari din articulații și din aparatul vestibular informează sistemul motor despre lungimea și tensiunea mușchilor, unghiul articulațiilor și poziția corpului în spațiu. Ambele tipuri de informații sunt esențiale pentru planificarea mișcărilor și rafinarea celor care trebuie perfecționate.

Pentru prinderea unui obiect putem corecta traiectoria greșită a brațului printr-un proces feedback. Acesta poate fi utilizat pentru menținerea sau pentru modularea variabilei exprimată prin poziție și forță. În sistemul nervos, feedback-ul este limitat la mișcările lente și la controlarea actelor secvențiale din cauză că

timpul necesar pentru prelucrarea inputurilor senzoriale este relativ lung. De exemplu, pentru a răspunde la un stimul vizual sunt necesare câteva sute de milisecunde, în timp ce o mișcare rapidă poate dura numai 150-200 milisecunde.

Evenimentele senzoriale pot controla adesea o acțiune motorie mai mult prin anticipare decât prin informație feedback. Informația anticipativă poate fi utilizată pentru reglarea variabilelor controlate înainte ca evenimentul să aibă loc și nu pentru influențarea lor. Acest control feed-forward este esențial pentru o mare varietate de mișcări.

De exemplu, pentru prinderea unei mingi este necesară reprezentarea dinamică sau modelul intern atât al traiectoriei mingiei, cât și a proprietăților sistemului musculoskeletal (Ghez, 1991). Proprioreceptorii musculari și articulari care sesizează lungimea și tensiunea mușchilor, precum și unghiul articulațiilor sunt critici în procurarea stării informaționale pentru sistemul motor. Totuși, o importanță deosebită o au și inputurile vizuale și vestibulare. Deși același senzor ne poate procura informații despre controlul feedback și feed-forward, căile de prelucrare a acestuia sunt destul de diferite. În contrast cu controlul feedback ce operează relativ încet dar continuu, controlul feed-forward acționează intermitent, iar după obținerea răspunsului complet, starea rezultată devine reevaluată.

Evenimentele neurale care duc la realizarea unei mișcări simple, voluntare implică trei procese: identificarea și localizarea țintei, planul acțiunii și executarea mișcării. Aceste trei faze sunt guvernate de următoarele regiuni ale cortexului cerebral: cortexul parietal posterior, ariile premotorii ale cortexului frontal și cortexul motor primar.

În privința organizării somatotopice a cortexului cerebral motor, trebuie amintit faptul că Fritsch și Hitzig (1870) au relevat pentru prima dată existența arii cerebrale de control a mișcărilor controlaterale ale corpului. Ei au constatat că stimularea electrică a diferitelor părți ale cortexului la câine produc contracții în diferite grupe musculare controlaterale. Ferrier (1875) a obținut mișcări ale membrelor contralaterale prin stimularea la maimuțe a girusului precentral și postcentral și mișcări ale ochilor prin stimularea cortexului parietal posterior. Leyton și Sherrington (1917) au descoperit la primate că efectele motorii se obțin mult mai ușor din girusul precentral. Acesată regiune corespunde ariei 4 Brodmann sau cortexului motor primar.

Descoperirea acestor arii ale cortexului cerebral care controlează mișcarea diferitelor părți ale corpului, a avut implicații clinice imediate și a dus la explicarea deficitelor motorii localizate și la înțelegerea mecanismului crizelor motorii focale.

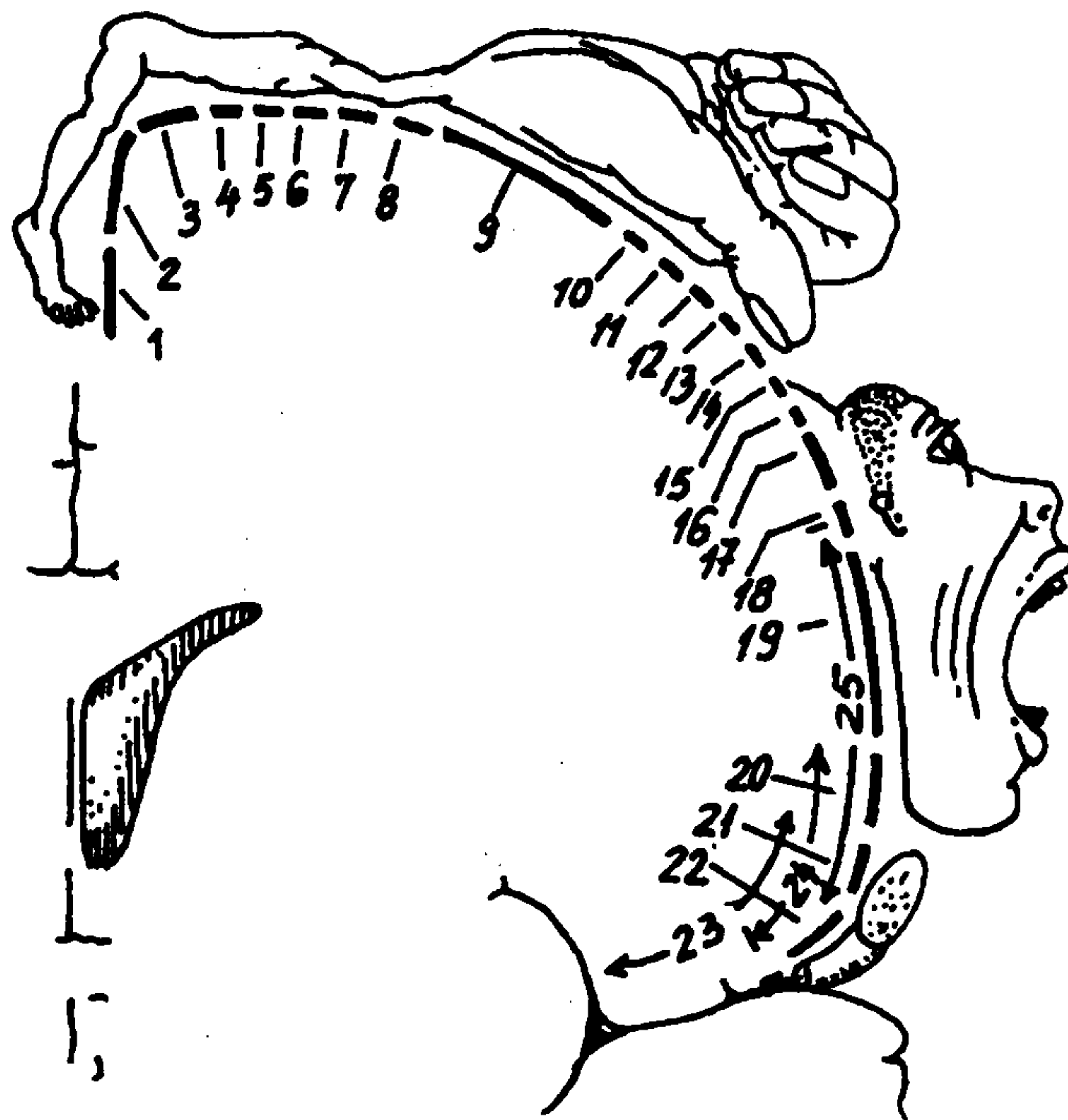
Ulterior, neurochirurgul Penfield și Rasmussen (1950) au utilizat tehnica de stimulare corticală preconizată de Sherrington la diferiți pacienți, pentru a identifica ariile funcționale și pentru a le putea păstra în timpul exciziei țesutului cerebral anormal. Studiile lui Penfield făcute pe pacienți și ale lui Woolsey (1958) făcute pe maimuțe au relevat că scoarța motorie primară determină forța motorie a corpului. Capul este reprezentat în apropierea șanțului lateral, iar deasupra se află reprezentarea brațului, trunchiului și piciorului (Fig. 89). Părțile corpului a căror utilizare necesită control și precizie (față, mâini) au o reprezentare disproporțional de mare în harta motorie. Pentru a vedea cât de detaliată este harta motorie, Asanuma și Rosen (1972) au stimulat cu ajutorul microelectrozilor cortexul motor. Astfel, autorii au constatat că scoarța motorie a cărei stimulare locală produce



contractia unui anumit mușchi prezintă o organizare radială similară coloanelor neuronale din cortexul somatic senzorial și vizual.

**Fig. 89.** Homunculusul motor cu reprezentarea somatotopică a principalelor arii motorii (adaptată după Penfield și Rasmussen, 1950).

1. Degetul mare de la picior; 2. Glezna; 3. Genunchi; 4. Șold; 5. Trunchi; 6. Umăr; 7. Cot; 8. Încheietura mâinii; 9. Mâna; 10. Degetul mic; 11. Inelar; 12. Mediu; 13. Index; 14. Degetul mare; 15. Gât; 16. Sprinceană; 17. Pleoapă și glob ocular; 18. Fața; 19. Buze; 20. Falcă; 21. Limbă; 22. Laringe; 23. Masticția; 24. Salivația; 25. Vocalizația.



Cercetătorii au constatat apoi că un mușchi distal este reprezentat în mai multe locuri. Invers, un stimul cortical care activează un anumit mușchi influențează și alți mușchi. Fetz și Cheney (1972) au descoperit că axonii corticospinali individuali diverg frecvent pentru a influența neuronii motori care inervează mai mulți mușchi. Pentru mușchii distali ai degetelor această divergență este mică (Chez, 1991).

Studiile lui Penfield și Woolsey au relevat că stimularea ariei 6 Brodmann situată anterior cortexului motor primar poate produce asemenea efecte motorii. Aceasta a fost numită arie premotorie. Axonii neuronilor ariei premotorii se proiectează în cortexul motor primar, în structurile subcorticale și în măduva spinării. În timp ce aria cortexului motor primar rămâne constantă, în filogenia primatelor, fiind proporțională cu greutatea corpului, aria premotorie crește în dimensiuni de șase ori la om față de maimuța macacus. Există două arii premotorii principale: aria motorie suplimentară (cortexul motor secundar) localizată pe aspectul medial și superior al hemisferei și cortexul premotor localizat pe suprafața laterală a hemisferei (Roland și colab., 1980; Wise, 1985; Massion și colab., 1989).

Mișcările induse de stimularea ariei motorii suplimentare sau a ariei premotorii sunt mai complexe și cer curenți de stimulare mai intenși decât cei utilizați pentru producerea stimulării cortexului motor primar. În cazul ariei motorii suplimentare apar mișcări de ambele părți ale corpului. Organizarea somatotopiei este întâlnită și la nivelul acestor arii.

Studiile de anatomie au identificat încă o arie premotorie localizată în girusul cinguli (aria 24), care prezintă importanță în motivație și în planificarea direcției motorii.

Citoarhitectura celor trei arii corticale motorii diferă de cea a ariilor senzoriale situate posterior și de cea a ariilor prefrontale situate anterior. Astfel, în aria motorie primară, stratul IV pregnant individualizat în zonele posterioare, deoarece aici sosesec majoritatea inputurilor corticale senzoriale este absent. Prin faptul că stratul 4 este numit granular intern, ariile motorii devine astfel agranulare.

Stratul 5 din cortexul motor primar are o populație marcată de neuroni piramidali giganți (celulele Betz cu diametrul de 50-80μm). Axonii acestor celule se duc în tractul corticospinal. Celulele Betz, denumire dată după numele descoperitorului acestora (Betz, 1874), reprezintă numai una din numeroasele populații nervoase ale milionului de axoni ce contribuie la formarea tractului corticospinal. Originea tractului se află la nivelul neuronilor de toate mărimile din stratul 5.

Aproximativ jumătate din axonii tractului vin din cortexul motor primar (aria 4 Brodmann). Mulți din ceilalți axoni aparțin celulelor ariei 6 și celor din aria motorie suplimentară. O mică porțiune ia naștere în aria premotorie laterală și în cortexul somatic senzorial (ariile 3, 2 și 1). Axonii tractului corticospinal originari din cortexul motor se termină în zonele ventrală și intermediară a măduvei spinării, în timp ce axonii proveniți din cortexul somatic senzorial se termină în cornul dorsal. Ariile motorii ale cortexului cerebral primesc inputuri de la trei surse: 1) de la periferie, direct de la nucleul talamic ventral posterolateral și de la cortexul somatosenzorial primar și indirect de la ariile senzoriale asociative prin intermediul ariilor premotorii; 2) de la cerebel, pe calea talamusului (prin partea orală a nucleului ventral posterolateral, prin partea caudală a nucleului ventrolateral și printr-o subdiviziune a talamusului denumită aria X); și 3) de la globus pallidus prin intermediul părții orale a nucleului ventrolateral și ventral anterior (Scheel și Strick, 1984; Hepp-Reymond, 1988; Rothwell și colab., 1991). Ariile corticale motorii primesc importante inputuri și de la cortexul senzorial și de la ariile senzoriale asociative primare.

Aceste conexiuni sunt organizate în mod homotipic, cortexul motor primind inputuri senzoriale de la cortexul senzorial care reprezintă aceeași parte a corpului. În plus, inputurile intracorticale către cortexul motor primar iau naștere în ariile motorii suplimentare și laterale, care la rândul lor sunt influențate de inputul primar provenit din cortexul asociativ prefrontal și parietal.

Preston și Whitlock (1961) și Phillips (1966) au descoperit separat că neuronii corticospinali ai primatelor au conexiuni excitatorii puternice și directe cu neuronii motori alfa. Axonii corticospinali excită și neuronii motori gama, dar prin intermediul unor căi polisinaptice. Astfel, activarea neuronilor motori gama și alfa permite fuserilor musculare să perceapă modificarea lungimii mușchiului în timpul mișcării unui membru, mișcare care produce scurtarea mușchiului. În afara conexiunilor indirecte neuronii corticospinali influențează neuronii motori și indirect. Lundberg (1979) a descoperit că una din importantele căi indirecte ale neuronilor motori care inervează mușchii brațului este reprezentată de neuronii propriospinali ai segmentului cervical superior al măduvei spinării, ce se proiectează la nucleii motori localizați mai jos cu unul sau cu două segmente. O altă cale indirectă se referă la interneuronii inhibitori, care mediază inhibiția corticospinală dinamică a neuronilor motori.

Aceasta face posibilă, pe de o parte, rapiditatea și precizia mișcărilor diferitelor segmente ale corpului luate separat (deget, antebrațul, gamba, mână,



picioare etc), iar pe de altă parte, integrarea în structuri motorii complexe, cu derulare simultan-serială a mișcărilor simple, secvențial-singulare, care duce la formarea variatei game a deprinderilor motorii implicate ca verigi executive, finalizatoare atât în structura activității fizice, cât și în a celei intelectuale.

Ariile corticale motorii (primară, premotorie și suplimentară) exercită control indirect asupra neuronilor motori spinali și prin intermediul proiecțiilor paralele care ajung la neuronii trunchiului cerebral (neuronii reticulospinali și alți neuroni).

Pentru a constata modul în care neuronii ariei motorii primare participă la inițierea și controlul mișcărilor, Evarts (1968) și Evarts și Tanji (1976) au făcut înregistrări neuronale singulare la maimuțele antrenate în efectuarea unor sarcini simple. Astfel, autorii au constatat că unele populații neuronale erau active în timpul flexiei, iar altele în timpul extensiei, iar modularea activității lor tipice avea loc înaintea contracției mușchilor relevanți. Acest fapt demonstrează în mod direct că, cortexul motor primar participă la inițierea sau declanșarea mișcărilor. Cercetătorii au mai demonstrat prin frecvența descărcărilor că neuronii tractului corticospinal encodează mai mult forța utilizată pentru mișcarea unui membru decât modificarea poziției aceluși membru. În afara neuronilor care encodează mărimea forței excitate, la nivelul cortexului motor primar se encodează și rata acelei forțe. Acești neuroni controlează viteza mișcării. Ei sunt asimilați de neuronii sistemului rubrospinal, a căror activitate este legată în principal de dinamica forței și de viteza membrului (Bruys și colab., 1986; Cheny și Fetz, 1980).

Direcția mișcării este encodată de populații de neuroni și nu de celule singulare. Georgopoulos (1986) a constatat că activitatea neuronilor individuali variază cu direcția mișcării; ei sunt stimulați brusc în cazul mișcărilor efectuate în direcții preferate și rămân tăcuți în timpul mișcărilor făcute în direcție opusă. Mai mult, neuronii stimulați de direcția preferată se află în coloane corticale similare. Neuronii individuali, care contribuie la efectuarea unei mișcări în direcția preferată, contribuie într-un grad mai mic la efectuarea mișcărilor în alte direcții. În cazul mișcărilor automate, răspunsul neuronal este mult mai lent. Neuronii cortexului motor primar primesc informații cu privire la poziția și viteza mișcării prin inputuri senzoriale.

Ca și neuronii din cortexul somatic senzorial, neuronii cortexului motor au la periferie câmpuri receptoare. Unele răspund la stimulii tactili, altele la mișcările mâinilor iar altele la întinderea mușchilor individuali și la rotația articulară. Asanuma și Rosen (1972) au constatat că unii neuroni din cortexul motor primesc inputuri proprioceptive de la mușchii către care se proiectează, în timp ce alții primesc inputuri de la pielea care vine în contact cu mușchii care se contractă. Acest input senzorial este transmis cortexului motor prin fibre corticocorticale provenite de la cortexul somatic senzorial și prin căi talamice directe. Phillips (1966) sugerează că circuitele transcorticale transportă informația aferentă de la mușchi și controlează contracția musculară printr-o cale lungă sub formă de buclă. Acest feedback supraveghează în plus reflexul de întindere, atunci când mișcarea unui membru întâlnește un obstacol neașteptat. Apariția bruscă a unei greutăți suplimentare produce o modificare marcată în paternul cortical de descărcare.

- În condiții optime de atenție, noi putem răspunde la stimulii senzoriali în 120-150ms (timpul cel mai scurt este pentru stimulii proprioceptivi sau auditivi, iar

cel mai lung pentru stimulii vizuali din cauza sinapselor extraretiniene). În contrast, timpul necesar pentru prepararea unei mișcări spontane poate lua sute de milisecunde. Acest timp de preparare crește odată cu anticiparea complexității răspunsului și cu gradul preciziei cerute. El mai depinde și de gradul prelucrării care este necesar pentru a da un răspuns adecvat la stimulul particular. Latența se scurtează când subiectul cunoaște dinainte stimulul cu care are de-a face și răspunsul pe care îl are de dat (timpul de reacție simplu). Timpul de reacție se lungește când subiectul trebuie să anticipe stimulii și răspunsurile la aceștia (timpul de reacție la alegere). Timpul de reacție la alegere crește liniar cu numărul alternativelor de răspuns, relație care reflectă o prelucrare în plus, necesară selecționării și programării răspunsului corespunzător (Ghez, 1991). Lezarea ariilor parietală posterioară, motorie suplimentară și premotorie laterală duce la apariția unor tulburări mai complexe de mișcare decât lezarea cortexului motor primar. În timp ce lezarea cortexului motor dă deficite, lezarea ariilor premotorii afectează abilitatea de dezvoltare a strategiilor corespunzătoare pentru mișcare. Când unei mimuțe cu leziuni la nivelul acestor arii i se pune mâncare în spatele unui paravan transparent cu deschidere laterală, aceasta insistă să ajungă la mâncare direct bătând cu labele în paravan (Moll și Kupers, 1977; Weinrich și Wise, 1982).

Aceste simptome sunt similare apraxiei oamenilor cu leziuni ale cortexului asociativ frontal sau parietal posterior. Pacienții cu apraxie nu au nici deficite motorii și nici tulburări de sensibilitate. Ei sunt capabili să efectueze corect mișcări simple, dar devin incapabili atunci când au de efectuat acte complexe care cer contracții musculare secvențiale sau strategii de planificare, cum ar fi pieptănatul părului sau spălatul dinților.

Aria motorie suplimentară joacă un rol important în programarea secvențelor complexe ale mișcărilor. Mișcările provocate de stimulare a ariei motorii suplimentare cer un timp mai lung și trenuri mai întinse de impulsuri decât mișcările evocate de cortexul motor primar. Acestea includ paternuri complexe de mișcări, cum ar fi orientarea corpului sau deschiderea și închiderea mâinii. Multe mișcări sunt bilaterale, dar mișcările care implică mușchii proximali pot fi mediate de proiecțiile directe ale ariei motorii suplimentare către măduva spinării. Cele care interesează mușchii distali par a fi mediate indirect prin conexiunile cortexului motor, deoarece ele dispar în cazul lezării cortexului motor (Roland și colab., 1980; Wise și Strick, 1984; Massion și colab., 1989).

Rolul ariei motorii suplimentare în programarea și nu în executarea mișcărilor complexe a fost descoperit de Roland și colab. (1980), în timp ce studiau fluxul sanguin cerebral la persoanele care aveau sarcina de a executa mișcări complexe. În timpul sarcinilor simple, fluxul sanguin crește dramatic în aria controlaterală a mâinii din cortexul motor primar și cortexul somatic senzorial, dar nu crește semnificativ în aria premotorie laterală. În timpul mișcărilor complexe ce implicau toate degetele, creșterea fluxului sanguin cerebral se extindea și asupra ariei motorii suplimentare. Când subiectul era pus să repete mintal mișcările degetelor, fără a le executa, fluxul sanguin creștea numai în aria motorie suplimentară. În anul 1984, Brinkman a constatat două feluri de deficite motorii după lezarea ariei motorii suplimentare. Primul duce la imposibilitatea maimuței de a orienta mâna și degetele, în mod corespunzător, pentru a scoate o alună dintr-o mică gaură. Al doilea, afectează sever abilitatea maimuței de a utiliza ambele



mâini pentru a trece o bucată de aliment prin gaura unei plăci de plastic. Maimuța normală împinge alimentul prin gaură cu o mână și-l prinde cu cealaltă. Animalul lezat împinge alimentul cu câte un deget de sus în jos și de jos în sus, nereușind să-l treacă prin gaură. Prin urmare, lezarea unilaterală a ariei motorii suplimentare dă deficite de coordonare bimanuală.

Aria motorie suplimentară joacă un rol important și în coordonarea posturii și a mișcărilor voluntare (Massion și colab., 1989). În timpul efectuării unei mișcări voluntare, operează două programe motorii coordonate dar independente. Unul inițiază mișcarea membrului, iar celălalt generează un răspuns coordonat postural. Acest al doilea program necesită integritatea ariei motorii suplimentare.

Cortexul premotor este mai puțin înțeles, dar s-a constatat că el primește principalele sale inputuri de la cortexul parietal posterior. Proiecțiile sale abundente sunt

trimise în regiunea trunchiului cerebral, care contribuie la formarea sistemului descendent medial (sistemul reticulospinal) și în măduva spinării, care controlează musculatura axială și proximală. Aceste conexiuni l-au determinat pe Kuypers (1985) să sugereze că aria cortexului premotor joacă un rol primar în controlul musculaturii axiale și proximale și în inițierea fazelor de orientare a corpului și brațelor către țintă. Mulți neuroni ai cortexului premotor sunt stimulați atunci când animalul primește un ordin. Acest fapt arată că activitatea ariei premotorii laterale are rolul de a prepara animalul pentru executarea unui ordin.

Un pas important pentru prepararea mișcării constă în focalizarea atenției asupra stimulului frapant și asupra relației spațiale dintre obiecte.

Informațiile cu privire la lumea externă transmise prin variate modalități senzoriale trebuie corelate cu informația despre poziția brațelor și corpului nostru, precum și cu starea motivațională.

Acum este clar că anatomia și fiziologia cortexului parietal posterior joacă un rol important în aceste procese.

La maimuțe, cortexul parietal posterior cuprinde ariile 5 și 7. La om, mai sunt incluse girusul supramarginal (aria 39) și girusul angular (aria 40) cu marcate specializări hemisferice. Cortexul parietal posterior stâng este specializat în prelucrarea informației lingvistice, iar cortexul parietal posterior drept este specializat în prelucrarea informației spațiale. Bolnavii cu leziuni în aceste arii au severe tulburări de atenție descrise ca neglijări ale stimulilor tactili și vizuali de partea opusă afecțiunii cerebrale. De asemenea, ei prezintă și erori caracteristice de localizare a obiectelor în spațiu, iar abilitatea de recunoaștere sau de afectare a gesturilor complexe este defectuoasă. Deși sensibilitatea este în întregime normală, acești pacienți nu recunosc obiectele complexe plasate în mână și nici nu pot descrie obiectele tridimensionale. Tipic este faptul că ei nu pot face uz de informațiile provenite din partea controlaterală a corpului sau din câmpul vizual controlateral. Ei sintetizează incorect coordonatele spațiale, iar mișcările lor nu sunt în acord cu coordonatele spațiale ale obiectului: când copiază un desen, elementele din partea opusă leziunii sunt neglijate.

Aria 5 primește inputurile sale principale de la nivelul cortexului somatic senzorial (ariile 3, 1 și 2) și leagă aceste inputuri somatosenzoriale de poziția membrelor. De asemenea, aria 5 este informată de către sistemul vestibular despre orientarea capului în spațiu, de aria premotorie despre planul motor și de inputurile

de la cortexul cingulat limbic despre starea motivațională. La rândul său, aria 5 trimite proiecții în ambele arii posterioare 7 și anterior la aria premotorie. Aria 7 este implicată primar în prelucrarea informațiilor vizuale legate de localizarea obiectelor în spațiu.

În aria 7, informațiile vizuale sunt integrate cu inputurile somatosenzitive provenite din aria 5 și cu inputurile din aria 22.

Aria 7 direcționează mișcările prin proiecțiile sale în aria premotorie și în partea laterală a cerebelului (Mountcastle și colab., 1975; Kubota și Hamada, 1978; Humphrey, 1979; Ghez, 1991). Majoritatea datelor cu privire la rolul ariilor asociative parietale în controlul motor au fost obținute de Mountcastle și colab. (1975). Aceștia au studiat activitatea neuronală a regiunilor respective în timpul comportamentului neural și au constatat că descărcarea neuronilor de la acest nivel este modulată de starea de atenție. În aria 5 există două clase de neuroni care prezintă interes pentru posibilul lor rol în inițierea mișcărilor.

Neuronii din prima clasă, numiți neuroni de proiecție ai brațului, sunt stimulați numai când maimuța atinge obiectul dorit (mâncarea sau stimulul recompensant) din mediul înconjurător. Acești neuroni nu răspund la stimulii senzoriali și nu sunt stimulați de mișcarea membrului în aceeași regiune spațială în absența obiectului de interes. Neuronii din a doua clasă, din aria 5, numiți neuroni de manipulare a mâinii devin activi numai când mâna animalului explorează obiecte de interes.

Neuronii cu proprietăți similare, dependenți de mișcare, sunt găsiți și în aria 7. Astfel, neuronii cortexului parietal posterior pot fi stimulați de stimuli senzoriali numai în contextul răspunsurilor motorii comportamentale specifice. Prin integrarea informației privind poziția animalului și cea a țintei, ariile parietale posterioare creează contextul cadrului de referință pentru direcționarea mișcării.

În rezumat, cortexul motor primar (M1) din fronatala ascendentă corespunde ariei 4 Brodman, iar cortexurile motorii non-primare acoperă aria 6 Brodmann. Studiile citoarhitectonice recente au arătat că delimitarea ariilor agranulare 4 și 6 este dificilă și au pus la îndoială unicitatea citoarhitectonică a ariei 6. Prin metode electrofiziologice, aria 6 a fost împărțită în două: aria motorie suplimentară, situată în mare parte pe fața internă a lobului frontal și aria premotorie situată pe convexitate. Prin stimularea cortexului motor primar, Penfield și Rasmussen (1950) au desenat pe suprafața circumvoluției frontale ascendente o hartă a corpului uman, pe care au denumit-o homunculus. Partea inferioară a circumvoluției frontale ascendente, de deasupra scizurii lui Sylvius, provoacă contracturi ale mușchilor buco-lingulo-faciali. Partea micjlocie a circumvoluției corespunde membrului superior și mâinii, iar lobul paracentral comandă membrul inferior. Suprafața segmentelor corpului de pe această hartă este legată mai mult de rolul lor fiziologic (precizia, finețea și utilitatea mișcărilor) decât de dimensiunile anatomice ale acestora. Un anumit grad de somatotopie se regăsește și în ariile motorii suplimentară și premotorie.

Wise și Strick (1984) au demonstrat că aria motorie suplimentară este conectată în principal cu nucleii cenușii centrali, iar cortexul motor primar și aria premotorie sunt legate de cerebel.



Aria premotorie și aria motorie suplimetară intervin în pregătirea motorie și în controlul senzorial al mișcării.

Câmpul oculomotor frontal nu ocupă decât o parte a ariei 8, cea din spatele celei de a 2-a circumvoluții frontale, în contact direct cu circumvoluția frontală ascendentă (Pierrot-Deseilligny, 1994).

Stimularea electrică a acestei regiuni la maimuță provoacă apariția sacadelor oculare, asemănătoare cu sacadele spontane ale animalului din libertate.

La nivelul piciorului celei de-a treia circumvoluții frontale stângi se află aria Broca (aria 44 și 45 Brodmann). Pentru integrarea motorie sunt indispensabili și centrii de integrare somestezică sau multimodală (ariile 5 și 7).

Eferențele sistemului corticospinal sau piramidal sunt constituite din fibre motorii cu origine corticală, care ajung fără sinapsă în cornul anterior al măduvei. La formarea acestui sistem contribuie celulele Betz și alte celule piramidale de talie normală, din circumvoluția frontală ascendentă și din ariile vecine. Axonii se reunesc în centrul semioval constituind un fascicul compact în brațul posterior al capsulei interne.

Fibrele cele mai anterioare asigură motilitatea feței, iar cele mai posterioare pe cea a membrului inferior. Fasciculul geniculat trece prin spatele genunchiului și nu prin genunchiul capsulei interne, așa cum se credea (Duyckaerts și Hauw, 1996).

În treimea medie a piciorului mezencefalic axonii se regrupează, iar în punte sunt disociați de nucleii pontini ai căror neuroni trimit axoni spre cerebel. În bulb, axonii fasciculului corticospinal formează pe fața anterioară a acestuia, un fascicul compact numit piramidă, de unde și calificativul de piramidal utilizat în desemnarea acestei căi motorii. La acest nivel, cel puțin 75% din fibre se încrucișează, dând naștere tractului corticospinal lateral. O parte din fibrele neîncrucișate formează tractul cortico-spinal anterior, iar o altă parte descind împreună cu fibrele încrucișate ale tractului lateral ipsilateral.

Secționarea fasciculului piramidal la maimuță produce tulburări motorii moderate, care nu interesează decât mișcările fine ale extremităților. Lezarea fasciculului piramidal la om are consecințe grave.

Aria motorie secundară (M2) are dimensiuni mai mici decât aria M1 și corespunde ariei somestezice secundare (40 și 43), peste care se suprapune, la baza circumvoluțiilor pre și postcentrale. Ea are rol în comanda motorie ipsilaterală a feței. În această arie corpul este reprezentat cu corpul rostral și cu extremitățile inferior caudal. Eferențele iau calea fibrelor corticostriate incluse în circuitele feedback care interesează nucleii bazali și talamusul.

## **Concluzii privind structura și funcțiile cortexului anterior**

Din datele de mai sus rezultă că între zonele motorii primare și zonele senzoriale primare există o comunicare înalt diferențiată și selectivă, atât prin intermediul fibrelor comisurale și de asociere, cât și prin intermediul circuitelor subcorticale. Aceste conexiuni creează posibilitatea transferului și comunicării oricărui mesaj modal (sau plurimodal incitator) pe oricare grup muscular somatic

(scheletic), una și aceeași reacție motorie **putându-se produce la acțiunea** mai multor stimuli modali (vizuali, auditivi, tactili), iar mai multe tipuri de reacții motorii se pot realiza la acțiunea unuia și aceluiași stimul.

Această situație conferă comportamentului motor mediat psihic un înalt grad de plasticitate și diversitate.

Legăturile de proiecție ale cortexului premotor cu formațiunile subcorticeale alcătuiesc una din componentele cele mai importante ale sistemelor extrapiramidale, care spre deosebire de căile piramidale (directe), **ajung la centrii motori finali** din trunchiul cerebral și măduva spinării după o serie de comutări la nivelul unor formațiuni subcorticeale.

În privința fluxului impulsurilor aferente corticale motorii și premotorii, acestea își au originea și în alte structuri subcorticeale decât cea a scoarței senzoriale. De exemplu, canalele de transmisie a informației către ariile regiunii precentrale sunt constituite, în cea mai mare parte, din căile care vin de la cerebel prin nucleul roșu și talamus.

Din punct de vedere operațional, conexiunea inversă care se realizează în activitatea integrativ reflexă a scoarței motorii (și premotorii) poartă informația legată de efectul răspunsurilor și acțiunilor motorii și de concordanța sau discordanța acestor efecte cu obiectivele și parametrii proiectați. Este vorba, prin urmare, de o conexiune inversă corectoare, care permite sesizarea mișcărilor eronate și evitarea lor ulterioară, precum și modularea selectiv-adaptativă a caracteristicilor mișcărilor corecte (traietorie, amplitudine, viteză, ritm, tempou, cursivitate etc) în funcție de specificul sarcinilor activității și de condițiile de desfășurare a acesteia (Pribram, 1971). Este de la sine înțeles că afectarea (lezarea) acestei conexiuni inverse duce la grave tulburări ale praxiei (manuale și generale) concretizate, în primul rând în discoordonări ale complexelor motorii și în alterarea direcției, preciziei și fluenței mișcărilor.

Dezvoltarea și creșterea gradului de complexitate a actelor comportamentale de tip explorator și instrumental-finalist au dus la diferențierea în lobul frontal a unor zone integrative de ordin superior (tertiare și cuaternare), distincte de ariile motorii și premotorii (ariile 4, 6 și 8). Este vorba de zonele specifice frontale, care din punct de vedere citoarhitectonic se caracterizează prin prezența celulelor stratului IV, ce recepționează fluxurile de informație de la nivelul formațiunilor subcorticeale (nucleii bazali, nucleii talamici și hipotalamici, cerebel). De asemenea, în zonele respective, sunt puternic reprezentate elementele neuronale piramidale de talie mijlocie, care realizează complexe conexiuni intra și interfrontale, comutări senzorio-ideomotorii și proiecții corticofugale spre segmentele subordonate ale nevraxului (Teuber, 1972).

Grație acestor particularități structural-organizaționale, zonele frontale de ordinul III, IV etc. dobândesc și funcții informațional integrative de un gen deosebit. Astfel, ele realizează integrarea unor forme superioare ale activității orientate (finaliste) bazate pe planificare și anticipare, pe corelarea și coadaptarea dinamică, selectivă a motivelor, obiectivelor sau scopurilor și mijloacelor.

La om, aceste zone care ocupă aproape 1/4 din întregul teritoriu al scoarței cerebrale, au o dezvoltare superioară față de zonele similare din creierul celorlalte



animale. Se poate presupune că, filogenetic, salturi calitative în organizarea globală (de ansamblu) a comportamentului în raport cu solicitările mediului extern și cu satisfacerea stărilor proprii de motivație se leagă, cu precădere, tocmai de constituirea și dezvoltarea mecanismelor subordonate de comandă-control ale cortexului frontal. De aceea, în interpretarea organizării structural-funcționale a creierului uman nu este lipsit de temei ca principiul general al corticalizării să fie întregit cu principiul particular al frontalizării (Arseni, Golu, Dănăilă, 1993).

Cortexul frontal realizează multiple conexiuni de tip proiectiv atât centrifuge, cât și centripete, cu diversele formațiuni situate la niveluri inferioare ale nevraxului; cu o anumită grupă de nucleii mediali ai talamusului, cu corpii striati, cu sistemul limbic și cu cerebelul.

Totodată, ariile frontale propriu-zise stabilesc un vast evantai de legături bilaterale atât cu ariile din regiunea precentrală, cât și cu cele situate posterior scizurii lui Rolando și pe fețele internă și bazală a hemisferelor cerebrale. Prin intermediul unor astfel de legături, devin posibile coordonarea și sincronizarea activității tuturor zonelor și structurilor corticale, în concordanță cu logica desfășurării comportamentului.

### **Particularitățile structural-funcționale ale zonelor mediobazale ale scoarței cerebrale**

Din punct de vedere anatomic, regiunea mediobazală este alcătuită din porțiunile marginale ale neocortexului (care intră, așa cum am menționat, în componența sistemului limbic), din ariile situate pe fața inferioară (bazală) și parțial din fața internă a lobilor frontali și parietali (câmpurile 11, 12, 20, 31, 32 Brodmann). La acestea se raliază apoi și zone filogenetic mai vechi. În segmentele mediobazale predomină celulele de tip granular, poligonal și cele piramidale de talie mijlocie. Principalele conexiuni proiective se realizează cu nucleii amigdalieni, grupa nucleilor anteriori și parțial cea nucleilor mediali ai talamusului, cu hipotalamusul și cu corpii striati. Prin fibrele de tip asociativ, segmentele mediobazale se leagă și interacționează cu cortexul posterior și anterior. Aceste segmente reprezintă și un mecanism de tip tampon, care mijlocește transferul și comutarea mesajelor de la centrul sintezei aferente la cei ai sintezei eferente, precum și în sens invers de la centrul de comandă din lobii frontali la centrul gnozici din lobii parietal, temporal și occipital.

Cercetările experimentale și clinice din ultimile trei decenii au adus o modificare semnificativă a reprezentării noastre despre rolul funcțional al segmentelor mediobazale ale scoarței cerebrale. În primul rând, s-a demonstrat că aceste segmente asigură condițiile de fond și operațiile pregătitoare ale comportamentului (tonusul de excitabilitate, tonusul afectiv, activarea și preselectia incitațiilor motivaționale, potențarea energetică a reacțiilor de răspuns) prin conectarea sistemului nervos somatic (al lumii externe) cu cel vegetativ, autonom și endocrin (al lumii interne).

Stimularea zonelor respective cu curent electric nu provoacă descărcări rapide și nici impulsuri după legea „tot sau nimic“. Ele răspund prin descărcări lente, care se accelerează treptat, influențând astfel starea de excitabilitate a restului scoarței cerebrale. Pe această bază se presupune că un al doilea rol funcțional important al zonelor mediobazale îl reprezintă operația de întărire pozitivă sau negativă în cursul procesului de formare a noilor legături temporare și, implicit, în elaborarea actelor comportamentale adaptative. Se pare că tocmai la acest nivel se închide circuitul dintre stările de motivație internă ale organismului și efectul comportamentului destinat satisfacerii lui.

În cazul unui efect pozitiv, se reduce starea de tensiune și se instalează starea de satisfacție și de confort psihofiziologic; în cazul unui efect negativ, se intensifică comportamentul de explorare, pentru găsirea unor noi posibilități de satisfacere. În acest sens, deosebit de relevante sunt experiențele efectuate asupra zonelor limbice.

Înregistrarea biopotanțialelor de la acest nivel a arătat că fiecare întâlnire pozitivă sau negativă provoacă puternice descărcări electrice. În cazul lezării zonelor limbice, s-au perturbat reacțiile scoarței la efectele acțiunilor efectuate, descărcările bioelectrice dobândind un caracter neselectiv, indiferent de semnul întăririi sau de prezența ori absența ei (Olds și Olds, 1964; Delgado, 1971; Valenstein, 1973).

În al treilea rând, s-a stabilit că ariile mediobazale ale scoarței nu se leagă numai de integrarea informațiilor olfactive și gustative, ci și de analiza și de sinteza variatelor tipuri de semnale provenite din mediul intern, dobândind prin aceasta un rol deosebit în realizarea și menținerea homeostaziei psihofiziologice a organismului.

Legăturile strânse între zonele mediobazale, îndeosebi între ariile limbice și scoarța frontală inferioară, pledează în favoarea ipotezei că în regiunea frontală are loc compararea și integrarea funcțională a două tipuri de feedback-uri: pe de o parte, feedback-ul de la veriga kinestezico-motorie orientat spre lumea externă, iar pe de altă parte, feedback-ul prin care se asigură controlul asupra funcțiilor și stărilor fiziologice interne. Devin astfel posibile înregistrarea și evaluarea variațiilor atât din mediul extern, cât și din mediul intern, condiție esențială a organizării și desfășurării optime a comportamentului.



# **Capitolul IV**

## **METODE ȘI TEHNICI DE INVESTIGARE**

### **Introducere**

Între gradul de cunoaștere a anatomiei creierului și înțelegerea funcționării lui, există o legătură complexă și indisolubilă. Astfel, pentru lămurirea multor probleme actuale se impune aplicarea unor metode de studiu din ce în ce mai perfecționate (fiziologice, anatomice și neuropsihologice).

Circumscrierea registrului acestor metode depinde de profunzimea sau nivelurile la care se abordează raportul creier-funcție-psihic.

Legat de aspectele concrete ale cunoașterii și de optica disciplinelor particulare (fiziologice, anatomice, psihologice) unele tehnici și metode se adresează fiziologiei, altele anatomiei și a treia categorie revine psihologiei.

Dezvoltarea rapidă a procedeeleor de examinare din ultimile două decenii reflectă valoarea crescândă a acestora în scopuri diagnostice, de îngrijire și tratare a pacienților cu deficite neuropsihice și de recuperare a celor cu tulburări cognitive și comportamentale.

Evaluarea neuroanatomică și psihologică contribuie atât teoretic, cât și practic la dezvoltarea semnificativă a neurologiei, psihologiei clinice și psihiatriei.

În practică, examenele neuroanatomic și psihologic servesc mai multor scopuri. De exemplu, aceiași informație utilizată în scop diagnostic sau pentru realizarea unui program de cercetare ne poate furniza date descriptive și pentru alcătuirea unui program individual de recuperare. În alte cazuri, datele obținute prin cercetare și diagnostic aduc informații utile pentru determinarea impactului comportamental al unei leziuni cerebrale (Lezak, 1997).

Dezvoltarea recentă a tehnicilor neuroradiologice a redus mult contribuția neuropsihologiei în indicarea diagnosticului de localizare lezională. Cu toate acestea examenul neuropsihologic continuă și azi să aducă informații critice în diagnosticul diferențial al demențelor și al depresiilor pacienților vârstnici, precum și în identificarea problemelor comportamentale asociate bolilor cerebrale la debut (Zec, 1993; Dănăilă și colab. 1996). La câțiva ani de la producerea unui traumatism cerebral sau a unei intoxicații numai deficitele psihocomportamentale reziduale pot indica prezența unei leziuni cerebrale.

Astăzi, examenul neuropsihologic prezintă importanță pentru descrierea detaliilor comportamentale necesare îngrijirii pacienților, pentru administrarea unui tratament adecvat, pentru aplicarea unui antrenament recuperator eficient și pentru reîncadrarea educațional-vocațional corespunzătoare. De exemplu, pentru ca

recuperarea să fie eficientă, este necesar ca procedurile aplicate să se bazeze pe date neurocomportamentale detaliate și adecvate. Estimarea gradului și calității ameliorării sau agravării bolnavilor este necesară și în tratamentele medicale și neurochirurgicale unde se impune aplicarea unor examene neuropsihologice precise și adecvate (Filley și colab., 1990; Morris și colab., 1991).

Examinările neuropsihologice repetate ajută la anticiparea gradului și calității ameliorării unor maladii acute (stroke, traumatisme cerebrale) sau a efectului unor condiții deteriorante (demențe, scleroze multiple).

În cadrul cercetării clinice, metodele și tehnicile de investigare includ descifrarea organizării funcționale a sistemului nervos central, dezvoltarea criteriilor de clasificare a funcțiilor neuropsihologice, descrierea comportamentelor din cadrul diferitelor afecțiuni neurologice și evaluarea eficacității tratamentelor.

Legiștii și judecătorii apreciază din ce în ce mai mult importanța disfuncțiilor cerebrale în apariția comportamentelor deviate sau criminale, în deteriorarea desfășurării normale a vieții și în apariția inconvenientelor familiale, după accidente, intoxicații stroke sau alte evenimente nocive, care duc la lezarea creierului. Prin urmare, metodele de investigare a anatomiei și fiziologiei creierului, precum și examenul neuropsihologic meticulos și repetat pot evidenția defecte subtile inaccesibile unui observator neexperimentat. Abilitățile clinice și experiența neuropsihologică a examinatorului au un rol important în interpretarea corectă a modelelor de deficit, întrucât acestea pot fi generate și de alte circumstanțe decât afectarea creierului. Apoi, situațiile care țin de cultură, de factorii educaționali sau de alți factori sociali, pot amplifica dezvoltarea anumitor funcții în detrimentul altora, în timp ce deprivările au tendința de a diminua capacitatea cognitivă (Adams și colab., 1982; Lister și Fishbein, 1988).

Pentru cei cu leziuni cerebrale, documentația asupra nivelului cognitiv premorbid ar putea sluji drept standard de comparație în performanța actuală. Dar cum foarte puțini indivizi își fac examenul neuropsihologic complet când sunt adulți, tineri și sănătoși, în majoritatea cazurilor standardul de comparație trebuie evaluat în raport cu informațiile disponibile la momentul în care leziunea cerebrală este deja cunoscută sau suspicionată (Lezak, 1997). Deși unii autori au utilizat pentru standardul de comparație medii populaționale, nivelul profesional premorbid înalt sau marile realizări personale ale bolnavului permit obținerea de către examinator a unor criterii directe de identificare a unui standard de comparație valabil în raport cu performanța actuală.

## I. METODEDE ȘI TEHNICI FIZIOLOGICE

Cele două modalități de transmitere a informației - electrică și chimică - oferă două seturi de tehnici de investigare: stimularea și înregistrarea electrică și stimularea și înregistrarea chimică.



## Stimularea și înregistrarea electrică

**Stimularea electrică** pentru mimarea activității naturale a creierului este cunoscută de foarte mult timp.

Bartholow, profesor de medicină din Cincinnati, a stimulat electric, în 1874, cortexul cerebral al unei femei, care ulterior a decedat ca urmare a unui ulcer malign al scalpului. Prin inducerea contracturii musculare la membrele de partea opusă, autorul a confirmat datele obținute anterior pe animale prin aceeași metodă, de către Fritsch și Hitzig.

Stimularea localizată implică în mod necesar utilizarea electrozilor cu un singur fir. Electrozii pot fi atât de subțiri încât să permită stimularea neuronilor individuali.

Pentru studii comportamentale se utilizează electrozi mai mari, care activează sute sau mii de celule cerebrale.

Șocurile electroconvulsive reprezintă stimularea electrică cea mai intensă. În astfel de situații, se trece transcranian un curent electric mai intens, care induce o criză convulsivă. Această tehnică traumatică deși nu oferă nici o imagine asupra funcționării cerebrale, este considerată de unii cercetători ca fiind un tratament util pentru bolnavii depresivi.

Tehnica electrozilor implantați a furnizat date valoroase cu privire la fiziologia creierului.

În prezent, ea este folosită atât experimental, cât și în scop terapeutic. Aceasta nu înseamnă că trebuie să admitem ideea greșită, conform căreia, oamenii vor putea acționa numai după voința psihoterapeutului. În tendința de exagerare a potențialului de utilizare a tehnicilor de manipulare cerebrală, unii cercetători văd în mod eronat în aceste procedee nu numai posibilitatea vindecării tulburărilor psihiatrice intratabile, ci și modalitatea de condiționare a unui anumit comportament social sau de blocare a unei acțiuni nedorite (Dănăilă și Golu, 1988). Stimularea prin unde radio și controlul fizic de la distanță asupra funcționării creierului și comportamentului, urmărește să pună în evidență specializarea funcțională a diferitelor zone ale creierului în condițiile menținerii integrității lui structurale (Delgado, 1971). Prin stabilirea unei legături bilaterale de tip feedback, între subiect și examinator, se crează posibilitatea urmăririi îndelungate a dinamicii funcționale a zonelor interesate și a stimulării lor dirijate, evidențiindu-se specificitatea răspunsurilor comportamentale. Explorarea diferitelor zone corticale și subcorticale aparținând sistemului extrapiramidal, limbic și diencefalic a dus la înregistrarea unor comportamente senzoriomotorii și stări afectiv-emoționale de diferite grade de complexitate, coerentă și direcționalitate.

În afara relevării specializării funcționale a zonelor explorate s-a putut demonstra și faptul că gradul de complexitate și specificitate al răspunsurilor provocate este direct proporțional cu nivelul ierarhic la care se situează zona stimulată. Astfel, stimularea zonelor corticale a dus la declanșarea unor acte

comportamentale mai complexe și mai încheiate, foarte apropiate de cele realizate în mod normal de către animal, decât stimularea unor structuri ierarhic inferioare, mezencefalice sau diencefalice.

Deși la om această metodă a fost utilizată pe scară foarte redusă constatările făcute au dus la concluzia că actele comportamentale au o bază de integrare semnificativ mai largă, cel puțin la nivelul scoarței cerebrale, decât cele ale animalelor. Pentru provocarea unui act compus din mai multe verigi senzorio și ideomotorii, la om este necesară stimularea unui număr mai mare de puncte decât la animalele de experiență. Conectarea telemetrică a creierului studiat la un computer echipat cu programe speciale de prelucrare-interpretare a datelor despre dinamica funcțională a creierului și de emisie a comenzilor de control va permite obținerea de date noi privitoare nu numai la descifrarea logicii interne de funcționare a creierului, ci și la posibilitatea de corectare, fără intervenții chirurgicale, a eventualelor erori și aberații neurofiziologice în integrarea comportamentului.

La om, utilizarea acestui procedeu ca instrument de control sau de manipulare comportamentală este condiționată de rezolvarea prealabilă a unor probleme serioase de ordin etic, politic și social. Oricum, comportamentul natural nu poate fi înlocuit prin unul artificial indus de experimentator.

Stimularea intracerebrală a fost introdusă pentru prima dată în anul 1962 de către Heath, în scopul tratării tulburărilor psihiatrice.

Ulterior, s-a dezvoltat lent prin utilizarea metodei respective de către Mazaras și colab., (1980) în domeniul durerilor cronice.

Stimularea continuă a regiunii subtalamică, la bolnavii cu mișcări anormale, a fost inițiată de Bechtereva și colab. (1972) și Brice și Mc Lellan (1980).

Mundinger și Neumuller (1982) au tratat prin stimulare talamică intermitentă unele dischinezii și unele dureri neuropatice centrale.

În anul 1983, Andy a utilizat stimularea cronică la vârstnicii cu mișcări anormale la care leziunea talamică ablativă prezenta un mare risc neurologic.

Siegfried (1986) a studiat efectele stimulării nucleului talamic senzitiv asupra dischineziilor și spasticității. Interesul pentru această metodă a crescut datorită rezultatelor bune obținute la bolnavii cu mișcări involuntare prin stimularea cronică a talamusului motor.

Prin stimularea părții ventroposterolaterale a pallidum-ului (Siegfried și Lippitz, 1994) și prin stimularea bilaterală a nucleului subtalamic (Limousin și colab., 1995), autorii respectivi au demonstrat că achinezia și dischineziile iatrogene pot fi controlate eficient.

**Înregistrarea electrică** Electrozii pot fi utilizați și pentru înregistrarea activității electrice naturale a creierului prin diverse tehnici electrofiziologice (electroencefalografia, electrocorticografia, potențialele evocate, stereoelectroencefalografia, electroencefalografia cuantificată).

Înregistrările pot fi făcute pe neuroni singurari sau pe populații de mii de neuroni așa cum se întâmplă în cazul potențialelor evocate.



**Electroencefalografia (EEG)** este cel mai frecvent utilizată în practica clinică curentă. Această înregistrare a activității electrice cerebrale se face cu ajutorul unor electrozi aplicați pe scalp, după diferite montaje, pentru a acoperi toată suprafața capului. Totuși, prin acest mijloc nu acoperim decât părțile laterale ale hemisferelor cerebrale, regiunile mediană și inferioară ale cortexului scăpându-ne sau nefiind cuprinse. De aceea, pentru a explora mai bine părțile anterioare și inferioare ale lobilor temporali, se recurge la anumite tipuri speciale de electrozi numiți zigomatici și sfenoidali.

Pornind de la lucrările de pionierat ale lui Galvani (1791) și Volta (1792) asupra existenței biocurenților la nivelul țesuturilor vii, fiziologul englez Caton (1874) a evidențiat pentru prima dată prezența biocurenților cerebrali la iepure. Această constatare publicată la scurt interval nu a suscitat nici un interes.

La om, prima înregistrare a ritmurilor bioelectrice cerebrale a fost făcută de psihiatrul german Hans Berger în anul 1924 (publicată în 1929). El a înregistrat biocurenții cerebrali prin aplicarea unor electrozi nepolarizabili la un bolnav căruia i se practicasă o trepanație largă decompresivă. Tot el a descris ritmul  $\alpha$ ,  $\beta$  și reacția de oprire a ritmului  $\alpha$  sub acțiunea unor stimuli exteriori.

În prezent EEG are o largă aplicare în medicină atât ca metodă de cercetare, cât și ca metodă clinică de explorare funcțională. Totuși, criteriile pe care le furnizează această metodă au o valoare diagnostică relativă din lipsă de specificitate.

Examenul EEG este extrem de ușor de efectuat într-un interval de timp relativ scurt, nu produce senzații neplăcute și nu are contraindicații. EEG așa cum se înregistrează în mod obișnuit este de origine corticală, provenind din sumația potențialelor postsinaptice ale neuronilor, în special piramidali. Traseul ritmic al acestuia este dependent de integritatea funcțională a structurilor subcorticale.

Această activitate continuă a milioane de neuroni apare în două variante: sincronizată și desincronizată.

Activitatea electroencefalografică sincronizată are o formă ondulatorie caracteristică, repetată, care poate fi identificată prin numărul de unde pe secundă. Astfel, la subiecții relaxați EEG este dominată de ritmul alfa și delta. Ritmurile fiziologice sunt împărțite în benzi de frecvență. Astfel, ritmul  $\alpha$  are o frecvență de 8-13 Hz/s (8-13c/s) și o durată de 80-120ms (Fig. 90). Amplitudinea variază între 25 și 100 $\mu$ V fiind ceva mai scăzută la nivelul hemisferului dominant. Amplitudinea ritmului crește și descrește progresiv îmbrăcând aspectul unor fusuri a căror durată este de 1-3s. Ritmul alfa este prezent în regiunile posterioare ale creierului adult în stare de veghe, în repaus, cu ochii închiși și se atenuază sau se blochează la deschiderea ochilor. Orice excitație (luminoasă, psihosenzorială, efort de atenție, activitate psihică) anihilează ritmul alfa, fapt cunoscut în encefalografie sub denumirea de reacție de oprire (Fig.91). Reacția de oprire depășește durata excitației, fenomen denumit timp de perseverare sau timp de restabilire. Timpul necesar pentru ca ritmul alfa să-și recapete amplitudinea este denumit timp de

adaptare. Stimularea luminoasă intermitentă induce un ritm alfa, care preia ritmul stimulilor luminoși. Ritmul delta ( $\Delta$ ) constituit din unde cu frecvență de 0,5-3Hz/s (sub 4c/s) și cu amplitudine de 50-100 $\mu$ V sau chiar mai mare, este prezent pe traseele EEG ale copilului mic și în cursul somnului subiecților mai vârstnici. Pe EEG adulților normali aflați în stare de veghe nu se înregistrează unde din banda delta ( $\Delta$ ). Ritmul  $\Delta$  monomorf este constituit din oscilații cu contur regulat, sinusoidale, cu frecvență de 0,5-3c/s și amplitudine de aproximativ 100 $\mu$ V. El denotă perturbări ale activității bioelectrice subcorticale. Ritmul  $\Delta$  polimorf are contur cu frecvențe neregulate dar amplitudinea sa este mai mică decât cea a ritmului  $\Delta$  monomorf.

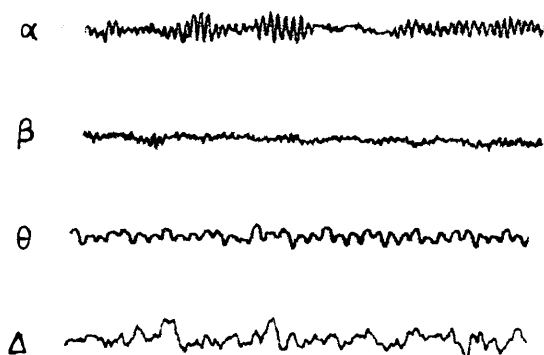


Fig. 90. Ritmurile EEG clasice ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$ ,  $\Delta$ )

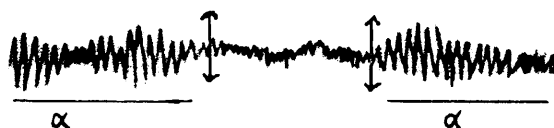


Fig. 91. Reacția de oprire a ritmului  $\alpha$  (între cele 2 săgeți)

Ritmul respectiv reprezintă tulburări ale activității bioelectrice corticale provocate de procese patologice superficiale.

Ritmul  $\beta$  este constituit din unde cu frecvență de 14-25Hz/s (peste 13c/s) și amplitudine de 10-30 $\mu$ V.

Se consideră că undele  $\beta$  au în medie jumătate din amplitudinea undelor  $\alpha$  și dublul frecvenței lor. Foarte neregulate și dispersate printre ritmurile  $\alpha$  ele sunt mascate și pot fi puse în evidență numai după suprimarea ritmurilor  $\alpha$  printr-un excitant psihosenzorial.



Incidența maximă a acestui ritm se înregistrează la nivelul regiunii temporale și frontale, îndeosebi la nivelul regiunii rolandice.

Ritmul  $\beta$  este un ritm de activare. În timpul reacției de oprire, ritmul  $\beta$  apare și la nivelul regiunii occipitale. Față de ritmul  $\alpha$ , ritmul  $\beta$  este mai puțin labil și nu este influențat de prea mulți excitanti psihosenzoriali. Excitațiile tactile duc la dispariția ritmului  $\beta$ , fenomen asemănător reacției de orbire produsă de excitațiile luminoase asupra ritmului  $\alpha$ . Și la reacția de oprire a ritmului  $\beta$  se descrie un timp de latență, un timp de perseverare și un timp de adaptare întocmai ca la reacția de oprire a ritmului  $\alpha$ .

Ritmul teta ( $\theta$ ) constituit din frecvențe de 4-7Hz/s (4-7c/s) și amplitudine de 30-70 $\mu$ V apare mai ales la copii, dar poate fi prezent și la adulți sau în caz de somnolență, la nivelul regiunilor temporale.

El se înregistrează sub forma unor unde izolate, care reprezintă 10-15% din numărul total de unde. În jurul vârstei de 4 ani, ritmul  $\theta$  constituie ritmul dominant. Datele de mai sus relevă faptul că ritmul  $\theta$  este generat de formațiunile subcorticeale. Paroxisme de unde  $\theta$  grupate și sincrone apar în cazul proceselor patologice din straturile cerebrale profunde.

Pe traseele EEG normale undele  $\theta$  izolate și sincrone nu trebuie să depășească 10-15% din totalul ritmurilor înregistrate.

Pe traseul EEG al unui adult normal aflat în stare de veghe și la adăpost de orice excitant psihosenzorial ritmurile  $\alpha$  și  $\beta$  reprezintă în medie 90% din totalul oscilațiilor înregistrate (Fig. 92). Totuși, diferențele individuale sunt mari. De la traseele EEG cu ritm  $\alpha$  dominant și până la cele cu ritm  $\beta$  dominant se descriu numeroase tipuri intermediare.

În stările de excitație corticală apar ritmuri rapide și subdezvoltate de tip  $\beta$  iar în stările de inhibiție apar unde mai lente și mai ample de tip  $\alpha$ . Stările emotive sunt însoțite de artefacte musculare foarte pronunțate și de fenomene vasomotorii care de asemenea produc artefacte. Activitatea psihică dezorganizează în mod necaracteristic traseul EEG, fără a se putea trage vreo concluzie asupra unui anumit act psihic. Elementele EEG nu corelează nici cu funcțiile psihice și nici cu capacitățile intelectuale. La debili mintali, traseele EEG pot fi complet normale. În stările patologice cerebrale apar fie unde prea lente, fie unde prea rapide, sau paroxistice. În sine, anomaliile lente nu sunt specifice, deoarece un accident vascular cerebral sau o tumoră pot produce EEG foarte asemănătoare.

De altfel EEG se modifică în timp, în funcție de evoluția pacientului.

EEG este deosebit de utilă pentru diferențierea proceselor focale de cele difuze uni- sau bilaterale. O diminuare localizată a amplitudinii activității cerebrale sugerează prezența unui hematoma subdural.

În cazul leziunilor difuze din timpul encefalitelor sau demențelor (panencefalita sclerozantă subacută, boala Creutzfeldt-Jakob) apare un patrn electroencefalografic caracteristic. O electroencefalogramă anormală apărută la un bolnav cu delir reprezintă un semn de organicitate. EEG este sensibilă și la variațiile metabolice.

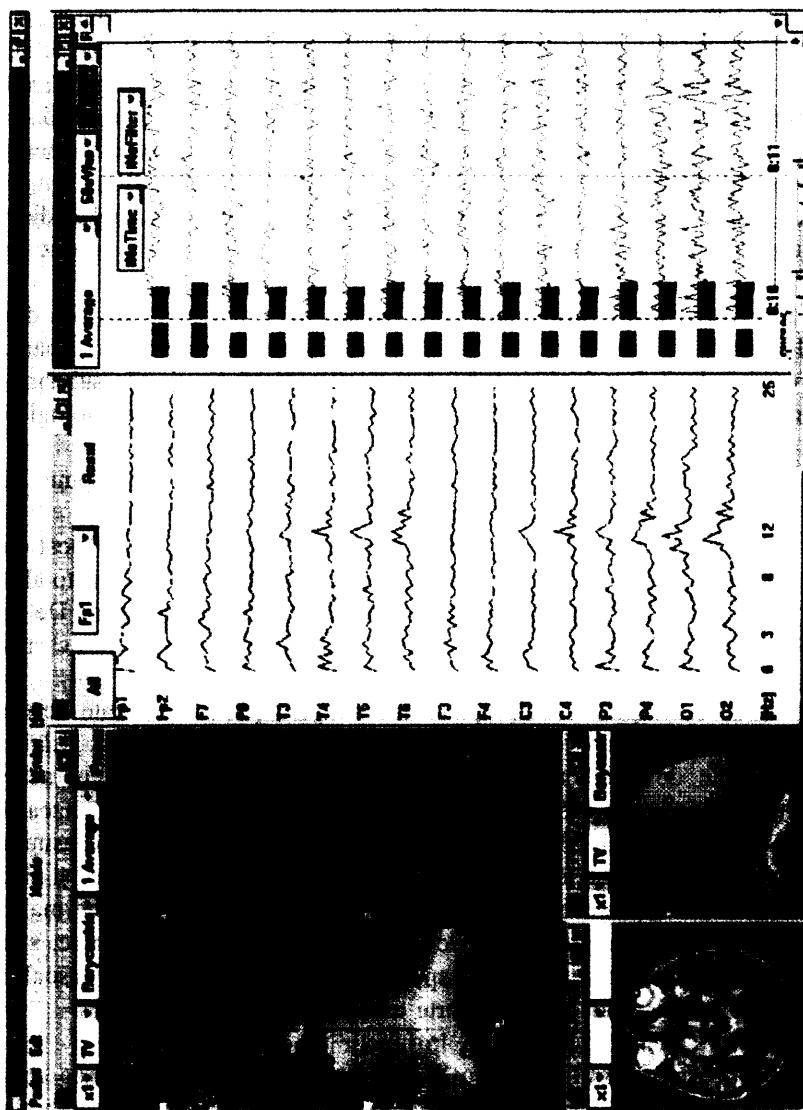


Fig. 92 a. Electroencefalogramă normală în care ritmul  $\alpha$  predomina posterior (occipital).



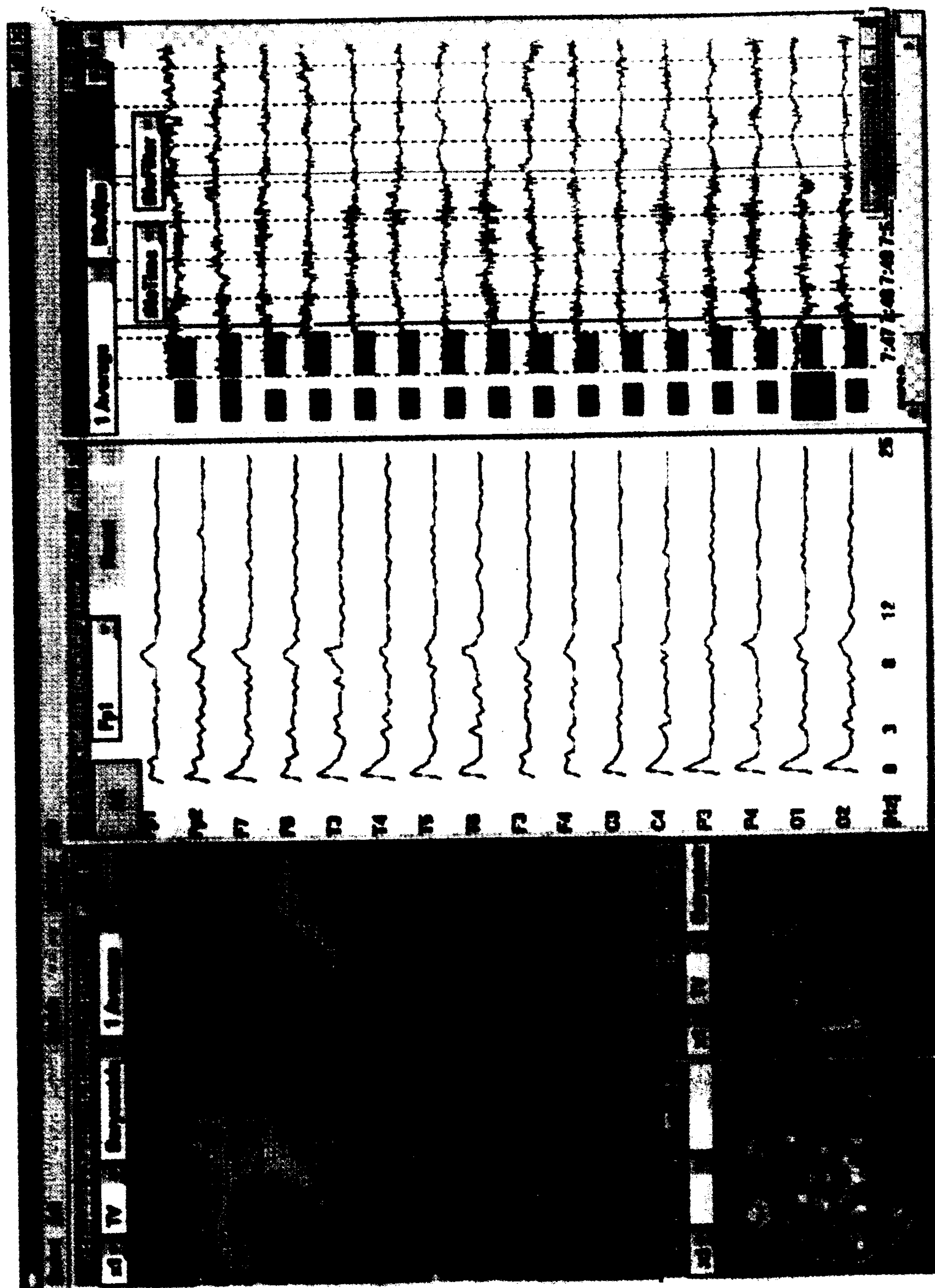


Fig. 92 b. Electroencefalograma unui pacient normal, dreptaci la care ritmul alfa predomină de partea dreaptă.

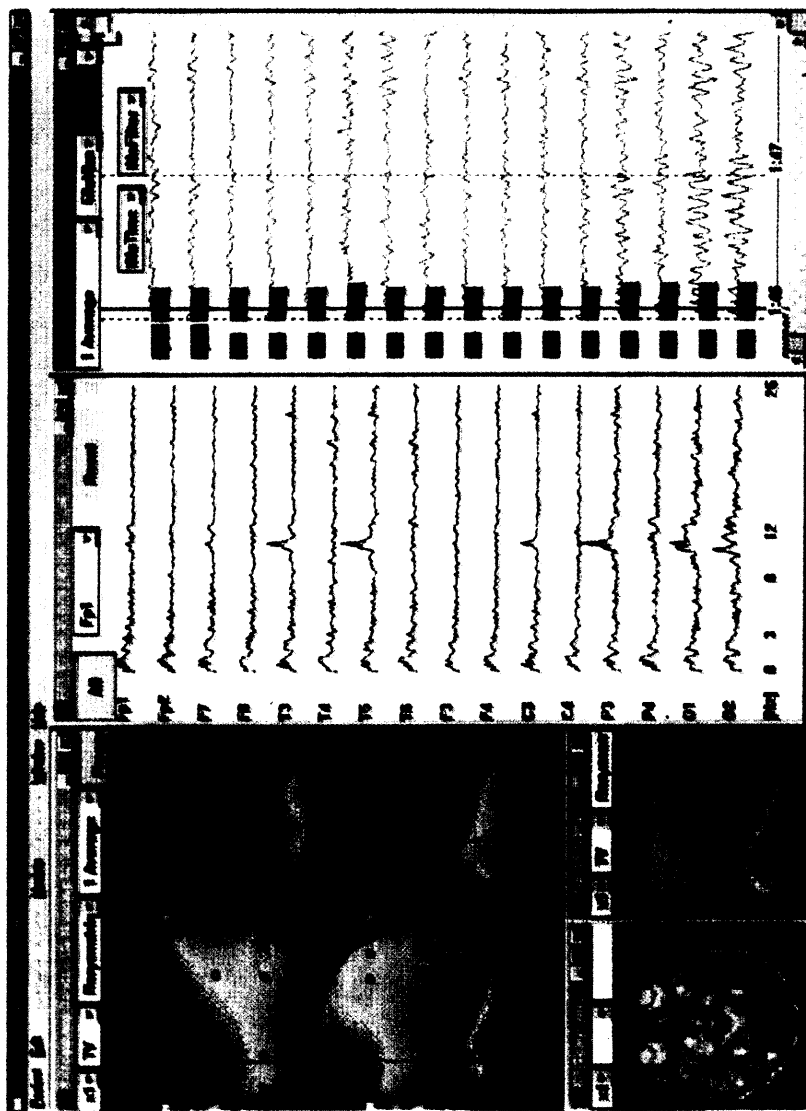
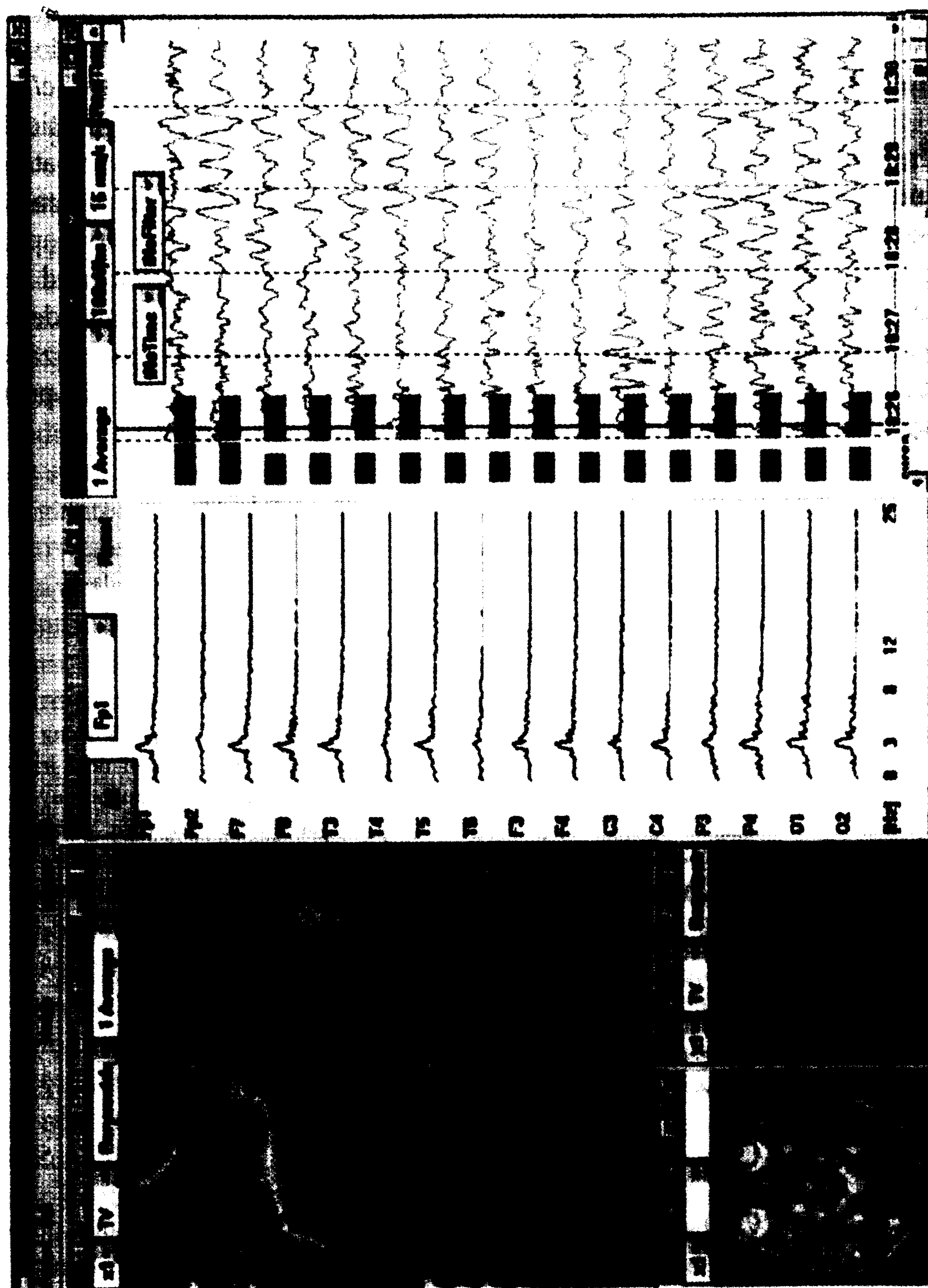


Fig. 92 c. Electroencefalograma unui pacient normal, stângaci, la care ritmul alfa predomină de partea stângă.





**Fig. 92 d.** Electroencefalograma unui pacient cu aspect lezional la care predomină undele delta și teta.

Marea utilitate a EEG este în studiul și diagnosticul epilepsiei, care se manifestă prin descărcări electrice anormale, hipersincrone, excesive și intermitente la nivelul cortexului cerebral. Descărcările respective au aspectul unor vârfuri paroxistice lente sau rapide, ca în epilepsia focală (fig 93), sau se manifestă prin complexe vârf-undă sau polivârfuri, ca în epilepsia generalizată și petit mal de la copil. În cazul crizelor de petit mal idiopatic de la copil (vârf undă regulat <3c/s), EEG relevă o activitate de fond normală, fapt important pentru prognosticul pacientului. În petit mal-ul variant (vârf-undă lent) ritmul de fond este perturbat și lent, traducând leziuni cerebrale difuzem însoțite deseori de întârziere mentală. Șansa de a înregistra o criză epileptică spontană este foarte rară, dar deseori apar descărcări epileptice intercritice, care pot fi înregistrate pe EEG. În acest mod se poate determina dacă este vorba de o epilepsie focală, dacă ea are tendința de a deveni secundar generalizată sau dacă este vorba de o epilepsie generalizată primară. Totuși, la un epileptic veritabil, uneori EEG este normală pentru că, prin definiție, crizele epileptice sunt intermitente.

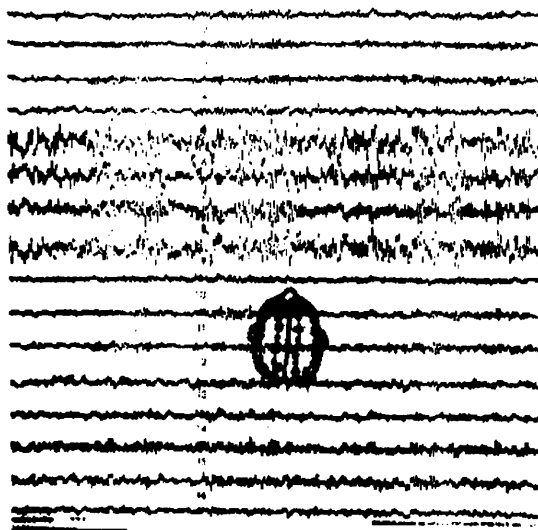


Fig. 93. Focar temporal stâng cu polivârfuri și anomalii nete iritative și lezionale la un bolnav în vârstă de 26 ani care prezenta false absențe, crize akinetice și automatisme ambulatorii nocturne.

Daly și Pedley (1990) arată că la 15-20% din epileptici traseele sunt normale. În astfel de cazuri, pentru activarea anomaliilor epileptice se utilizează hiperventilația, stimularea luminoasă intermitentă, EEG de somn, activarea medicamentoasă, electrozi speciali, înregistrarea prelungită cu sau fără înregistrare video, retragerea medicației anticonvulsive etc.

Traseele de somn, cu sau fără activare medicamentoasă și mai ales după privare de somn în noaptea precedentă, sunt deseori utilizate în cazul investigării



epilepsiei, deoarece unele crize de epilepsie survin mai ales în cursul variațiilor de conștiință sau în timpul anumitor faze ale somnului. De asemenea, se poate utiliza clorpromazina pentru a coborâ pragul convulsiv și a face să apară anomaliiile epileptice. Anomalii EEG pot fi găsite și la populația martor așa-zis normală, mai ales la părinții epilepticilor.

**Electrocorticografia** se referă la înregistrarea activității electrice cerebrale, cu ajutorul electrozilor aplicați direct pe cortex, după efectuarea unei craniotomii. Această tehnică a fost utilizată mai mult pentru explorarea cortexului cerebral prin intermediul stimulării electrice la pacienții fără anestezie generală (Penfield și Jasper, 1954) și în chirurgia epilepsiei. În ultima eventualitate este necesară determinarea, cât mai precisă, a localizării și întinderii cortexului epileptogen, precum și verificarea corectitudinii exciziei acestuia.

**Potențialele evocate** sunt reacții electrice evocate în sistemul nervos de stimuli externi specifici. În clinică, se utilizează frecvent potențiale evocate vizuale, auditive și somatosenzitive. În vederea acestui scop se prezintă subiectului stimulul de studiat, în mod repetitiv, după care se face o medie a răspunsurilor, care permite degajarea potențialelor de voltaj mic, marcate pe EEG. Deoarece creierul are o activitate permanentă, este imposibil a deosebi un potențial evocat singular de activitatea de fond. Pentru aceasta, se utilizează stimuli repetați și un computer pentru înregistrarea activității electrice succesive în speranța constatării în final a unui potențial consistent, care să iasă deasupra activității generale și care să elimine activitatea aleatoare de fond.

Răspunsurile apar la câteva milisecunde de la aplicarea stimulului, latența depinzând de localizarea exactă a electrodului înregistrator.

Cel mai adesea, potențialele evocate sunt preluate din cortex cu ajutorul electrozilor plasați direct pe scalp, dar ele pot fi înregistrate și cu ajutorul unei singure unități. În final se obține o curbă ale cărei componente pot fi studiate din punct de vedere al balanței, duratei, amplitudinii, distribuției etc. Aceste componente ar putea corespunde diferitelor nivele de prelucrare a informației de către sistemul nervos. Potențialele evocate pot fi exogene (senzoriale) și endogene (cognitive). Latența și amplitudinea răspunsurilor exogene sunt determinate predominant de parametrii stimulilor (intensitate și ritm). În cadrul răspunsurilor exogene includem răspunsul evocat auditiv de trunchi cerebral, paternul  $P_{100}$  al potențialului evocat vizual și potențialul evocat somatosenzorial primar. Deoarece aceste răspunsuri sunt rezistente la influențele cognitive, ele sunt utilizate într-o largă varietate de condiții neurologice în scopul măsurării activității neurale a căilor senzoriale (Knight, 1997). Potențialele cognitive, sau potențialele legate de evenimentele intrapsihice sau de mediu, sunt potențiale evocate cu latență lungă. Cităm din această categorie următorii factori cognitivi la care s-au determinat amplitudinea, latența și distribuția pe scalp a diferitelor tipuri de potențiale cerebrale endogene: gradul atenției  $P_{300}$  (P pentru pozitiv, 300 pentru latența în milisecunde), variația contingentă negativă (CNV - contingent negative variation), prepararea mișcării

(MRPs-movement-related potentials) și analiza lingvistică  $N_{400}$  (N pentru negativ, 400 pentru latența în milisecunde).  $N_{400}$  un potențial cu vârf negativ apărut la aproape 400ms de la stimularea a fost descris pentru prima dată de Kutas și Hillyard (1980) ca fiind evocat de violarea posibilității semantice de la sfârșitul propoziției („ea și-a luat cafeaua cu frișcă și câine“ în loc de „.... frișcă și zahăr“).

Teoria generală a lui  $N_{400}$  reflectă reabilitarea informației din memoria pe termen lung (Kutas și Hillyard, 1980; Noldy-Cullum și Stelmack, 1987; Kutas și Van Patten, 1988).

Componenta  $P_{300}$  este un potențial cerebral înregistrat pe scalp care poate fi utilizat în studiul mecanismului uman al atenției fazice.

Componenta  $P_{300}$  a ERP (event-related potential) a fost raportată pentru prima dată în anul 1965 de către Sutton și colab., (1965) și Desmedt și colab., (1965), iar de atunci ea a constituit subiectul unor cercetări cognitive extensive atât la populația normală, cât și la cea clinică.

În conjuncție cu datele intracraniene și studiile lezionale s-a ajuns la concluzia că  $P_{300}$  nu este un fenomen unitar, ci reprezintă activitatea neurală din regiunile corticolimbice angajate în timpul răspunsului voluntar și involuntar la evenimente discrete din mediul înconjurător (Knight, 1997).

Măsurarea potențialelor evocate a suscitat o literatură abundentă în cursul ultimilor decenii, dar, în ciuda acestora și a unor rezultate deseori interesante cu privire la verificarea funcționalității diferitelor regiuni cerebrale, ea nu s-a impus în practică, mai ales din cauza problemelor tehnice de înregistrare și a dificultăților de reproducere a rezultatelor studiilor. Semnificația și relația potențialelor evocate cu procesele cognitive rămâne un subiect în dezbatere.

**Stereoencefalografia cu electrozii implantați în profunzime** reprezintă tot o înregistrare a activității electrice cerebrale.

Electrozii implantați în profunzime, în interiorul creierului, prin metode stereotactice au permis efectuarea unor studii asupra mișcărilor anormale în cursul talamotomiilor. Înregistrările și stimulările talamusului ne-au adus informații neuropsihologice cu privire la rolul structurilor acestuia în limbaj și memorie (Ojeman, 1975). Înregistrările cu electrozi profunzi făcute la nivelul părții ventromediane a lobilor frontali, la nivelul părții centrale a lobilor temporali și a regiunii din jurul ventriculului III au contribuit la explorarea substratului anatomic al emoțiilor la om (Sem-Jacobsen și Styri, 1975).

Astăzi, acești electrozi sunt utilizați preoperator în studiul epilepsiei, la candidații pentru rezecție chirurgicală a focarului epileptic și în tratamentul maladiei Parkinson. Scopul utilizării acestora în epilepsie este acela de a localiza cât mai exact posibil focarul din care iau naștere crizele pacientului și de a-l înregistra.

Electrozii profunzi permit de asemenea stabilirea unor corelații între anumite fenomene comportamentale și localizarea lor cerebrală (de exemplu, între agresivitate și hipocamp-St-Hilaire și colab., 1981)



**Electroencefalografia cuantificată** se face prin analize de amplitudine, sau prin analiză spectrală cu ajutorul calculatoarelor.

Literatura abundentă din acest domeniu se referă la studiile de lateralizare a proceselor psihologice și la studiile asupra asimetriilor interhemisferice în relație cu activități cognitive specifice (Andrée Ross-Chouinard, 1997). Rezultatele studiilor respective, deseori citate pentru a sublinia conceptul de specializare funcțională a hemisferelor cerebrale, sunt contestate (Gevins și colab., 1979).

În psihofarmacologie, EEG cantitativă este utilizată pentru depistarea și clasificarea noilor psihotrope. Această tehnică este deci pentru moment o unealtă de cercetare, dar cu puține aplicații în practica curentă (Andrée Ross-Chouinard, 1997).

### **Stimularea și înregistrarea chimică**

Este cunoscut faptul că civilizațiile vechi foloseau medicamente extrase din plante al căror efect se repercuta asupra percepției, emoției și cogniției.

Astăzi, mescalina (extrasă din cactusul uscat „Peyote”), psilocibilina (extrasă din așa zisa „ciupercă sacră”, din America Centrală), opiul și morfina (extrase din căciula de mac) sunt utilizate pentru proprietățile lor halucinogene, în timp ce medicamentele sintetice antidepresive, antianxioase, antipsihotice, analgezice etc. sunt utilizate pentru modificarea comportamentului și trăirilor. Majoritatea medicamentelor sintetice folosite în psihiatrie au fost introduse în terapie pe bază pur pragmatică, înainte de a dispune de date suficiente despre chimia creierului. Pe măsura acumulării experienței privind neurotransmiterea sinaptică la nivel cerebral, a devenit posibilă controlarea efectelor comportamentale ale medicamentelor în conjuncție cu transmitătorii și receptorii sinaptici. Astfel, s-a dezvoltat psihofarmacologia sau farmacologia comportamentală.

Psihofarmacologia cuprinde două domenii mari: primul se ocupă de mecanismele de acțiune ale medicamentelor utilizate în clinica psihiatrică, în timp ce al doilea are în vedere utilizarea medicamentelor ca unelte de investigare a funcțiilor cerebrale legate de comportament.

Substanțele medicamentoase acționează asupra chimiei creierului și deci asupra comportamentului. Diferențierea constă în obiectivarea scopului urmărit de noi. Astfel, chlordiazepoximum (librium) a devenit cunoscut prin acțiunea sa terapeutică asupra pacienților anxioși.

Totuși, el constituie subiect de analiză pentru relevarea mecanismelor cerebrale ale anxietății și de sugestie pentru găsirea unor medicamente mai eficiente. Medicamentele cu acțiune farmacologică specifică asupra anumitor sinapse (exemplu colinergice) ne oferă date cu privire la fiziologia comportamentală a anumitor grupe de sinapse neuronale.

În astfel de cazuri, mai importantă este acțiunea farmacologică a acestora și nu cea clinică. Modalitățile de studiu al respectivelor substanțe medicamentoase,

care influențează neurotransmiterea sinaptică, implică adesea injectarea intracerebrală a lor prin intermediul unor canule permanente, implantate în situsuri specifice. Această tehnică a dus la descoperirea unor clase de medicamente care acționează foarte diferit. Unele, similare ca structură cu neurotransmițătorii acționează direct asupra receptorilor sinapici pentru a-i stimula (agoniste) sau pentru a-i bloca (antagoniste). Astfel, s-a demonstrat că apomorfina este un agonist dopaminic, iar scopolamina este un antagonist colinergic. Altele influențează eliberarea neurotransmițătorilor din terminalul presinaptic. Astfel, amfetamina crește posibilitatea eliberării din terminalele lor a dopaminei și noradrenalinei, fiind deci un agonist cu acțiune indirectă.

Interferarea cu calea metabolică a unui neurotransmițător reprezintă o altă modalitate de acțiune a acestor medicamente. Neurotransmițătorii sunt sintetizați în interiorul neuronilor din materialele brute ale fluxului sanguin.

Enzimele specifice sunt necesare atât pentru sinteza neurotransmițătorilor, cât și pentru inactivarea lor postsinaptică, după ce aceștia și-au îndeplinit rolul. Dacă nu s-ar întâmpla așa, atunci stimularea postsinaptică ar fi continuă.

Medicamentele anestezice pot avea acțiuni puțin specifice. Ele acționează mai mult asupra membranei neuronale prin reducerea excitabilității.

Substanțele neurotoxice injectate direct în creier sunt utilizate pentru producerea unor leziuni chimice specifice. Printre acestea se află 6-hidroxi-dopamina, care preluată de terminalele nervoase dopaminergice le distruge și 5,7 hidroxitriptamina, care are același efect asupra terminațiilor serotoninergice.

Pentru toate sistemele clasice de neurotransmițători și pentru unele noi există deja baterii de medicamente care le stimulează, le blochează, le cresc sau le scad nivelul.

### **Analiza lichidului cefalorahidian (LCR)**

Metoda cea mai directă de studiere a biochimismului cerebral este analiza lichidului cefalorahidian.

Sistemul ventricular și spațiul subarahnoidian oferă o modalitate de eliminare a produșilor metabolismului cerebral. LCR, care circulă în mod constant între creier și măduva spinării, poate fi extras prin puncție lombară sau suboccipitală. Analiza sa relevă diferite aspecte patologice și de activitate metabolică a creierului. Prezența particulelor virale sau microbiene poate confirma diagnosticul de meningită sau meningoencefalită, iar prezența hematiilor și a produșilor lor de degradare confirmă existența unei hemoragii cerebrale. De asemenea, LCR conține apă, substanțe solide în stare coloidală sau de soluție, substanțe minerale (cel mai dependent de plasmă este ionul de clor), substanțe organice (glucoză, acid lactic, cataboliții proteinelor și nucleoproteinelor, uree, acid uric, creatinină etc), mediatori chimici, monoamine și metaboliții lor (norepinefrina cu principalul său metabolit 3 metoxi-4 hidroxifenil-glicolul, acidul homovanilic metabolit al dopaminei etc.), nucleotizi ciclici, aminoacizi, proteine și elemente celulare, care la om nu depășesc 5 elemente/mm<sup>3</sup>.



## Metode fiziologice globale

Aspectele fundamentale ale integrării și dinamicii activității nervoase superioare, absolut obligatorii pentru elaborarea unei teorii explicative generalizate a raportului psihic-creier, devin accesibile prin utilizarea unor metode funcțional globale, care să se adreseze creierului ca întreg, așa cum este el solicitat în condițiile normale de viață și care în același timp să permită studiul nu numai al actelor reflexe înăscute, ci și al celor dobândite.

Meritul trecerii de la cercetarea artificial-segmentară la cea sistemic-naturală a activității reflexe îi revine lui Pavlov.

Introducând noțiunile de reflex condiționat, semnalizare și legătură temporară, el a pus bazele unui capitol nou, fundamental al fiziologiei sistemului nervos, care a adus o contribuție decisivă la înțelegerea obiectiv științifică a raportului psihic-creier (Arseni, Golu, Dănăilă, 1983).

Ulterior, pe baza stabilirii unei legături temporale de semnalizare între un stimul biologic necesar, necondiționat, și unul în sine indiferent, condiționat, Pavlov a elaborat o nouă metodă de cercetare, metoda condiționării. La un moment dat, după mai multe reperări în condiții asemănătoare, stimulul condiționat va dobândi, printr-un mecanism de transfer, proprietatea de a declanșa răspunsuri comportamentale care, până atunci, erau declanșate numai de stimulul necondiționat. Se constituie astfel o gamă comportamentală nouă, formată din acte reflex-condiționate.

Metoda condiționării a dus la determinarea legilor generale ale formării și consolidării reflexelor condiționate de diferite tipuri: simple, de diferențiere, de întârziere, de urmă (vestigiale), frâne condiționate, stereotipii dinamice etc. Apoi a pus în evidență legile raporturilor spațio-temporale dintre procesele nervoase fundamentale (excitație, inhibiție) legea iradierii, legea concentrării și legea inducției reciproce. Tot cu această metodă s-au putut identifica și determina proprietățile naturale ale celor două procese fundamentale -forța, echilibrul și mobilitatea- pe baza cărora s-a elaborat teoria asupra tipurilor generale de sistem nervos, cadru de referință în analiza temperamentului și a altor laturi ale structurii personalității.

În fine, metoda condiționării s-a dovedit utilă la om atât în studiul raporturilor genetice și funcționale dintre primul și cel de al doilea sistem de semnalizare, cât și în relevarea rolului reglator-integrator al cuvântului în întreaga activitate nervoasă superioară.

Metoda condiționării a fost perfecționată ulterior de către Konorski, Miller și Skinner prin introducerea unei variante noi, cunoscută sub denumirea de condiționare instrumentală sau operantă.

Acest fapt relevă că, în condițiile mediului natural de viață, atât animalul, cât și omul se confruntă frecvent cu situații problematice de diferite grade de complexitate, care se interpun între motivația și obiectul corespunzător satisfacerii

lor. Pentru aceasta omul sau animalul trebuie să-și formeze pe loc acte comportamentale adecvate surmontării obstacolelor ce se impun între organism și obiect. Aceste acte se numesc instrumentale sau operante, deoarece ele mijlocesc și facilitează atingerea obiectivului adaptativ final. Analiza lor furnizează informații cu privire la modul general de funcționare a creierului și la organizarea comportamentului.

În baza acestor principii au fost concepute și experimentate numeroase tipuri de situații problemă: orientarea și ieșirea din labirint, acționarea unor pedale și zăvoare, suprapunerea și asamblarea de obiecte etc. Pentru rezolvarea situațiilor problemă, animalul trebuie să efectueze diferite mișcări și operații. Facilitarea desfășurării procesului condiționării și învățarea noului comportament instrumental se face prin recompensarea acțiunilor adecvate sau reușite și prin sancționarea celor eronate. Aceste experimente au permis o mai pregnantă individualizare și o analiză mai riguroasă a unor funcții sistemice fundamentale ale creierului cum sunt: explorarea activă și orientată a mediului sub impulsul unei stări interne de motivație a organismului, relaționarea selectivă a elementelor situației externe cu actele motorii operante, analiza și evaluarea efectelor adaptative ale actelor de răspuns; funcția de algoritmizare (reunirea într-o succesiune strict determinată a unor imagini, operații și acte motorii în vederea obținerii unui efect adaptativ în situații repetabile); funcția euristică (emiterea de strategii succesive de abordare și soluționare a situațiilor problematice noi); funcția de generalizare și transfer (relevarea elementelor comune ale diferitelor situații problematice particulare și comutarea strategiilor și schemelor de soluționare de la una la alta). Aceste funcții ne transferă din planul neurofiziologicului în cel al psihologicului, ceea ce conferă metodei condiționării instrumentale un statut privilegiat. Principiile condiționării instrumentale stau la baza unei însemnate părți a testelor psihologice de performanță destinate îndeosebi studiului funcțiilor senzorio-motorii și cognitive superioare.

## II. METODEDE ȘI TEHNICI ANATOMICE

### Metoda leziunilor anatomice

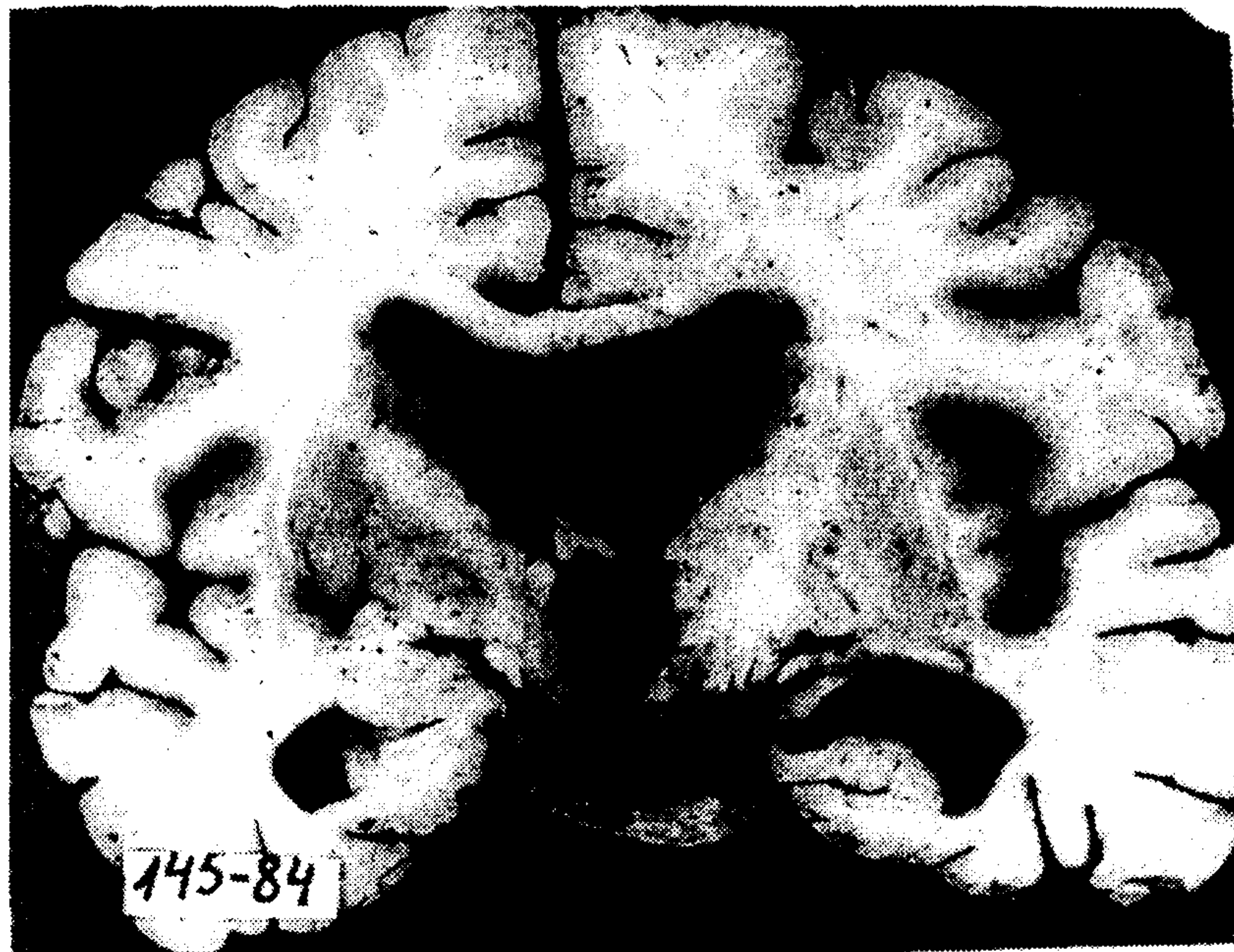
Leziunea se referă la distrugerea unui volum mic și localizat de țesut cerebral. Distrugerea fizică a substanței nervoase la animale și la om se realizează cu bisturiul, prin aspirație, prin injectare de alcool, prin refrigerare focală, prin implantarea granulelor radioactive, prin coagulare, prin lezare electrică, prin tehnica neurotoxinelor etc.

La om, leziunea mai poate fi produsă de o boală neurologică sau de o intervenție neurochirurgicală (Fig. 94). Studiul acesteia se face in vivo sau



postmortem. Cerința indispensabilă este ca leziunea să fie stabilă, bine delimitată și efectuată la nivelul unei anumite unități neuroanatomice. Ablația -mai puțin obișnuită acum, deoarece datele se focalizează mai ales asupra unității structurilor cerebrale- se referă mai mult la distrugerea sau îndepărtarea unor întregi regiuni cerebrale cum ar fi cortexul, hipocampusul etc. Lobotomia, rar utilizată, se referă la distrugerea fizică a unui lob cerebral, iar leucotomia are drept scop secționarea unor căi comune dintre diferite porțiuni ale creierului. Aplicată experimental sau pe om, metoda leziunilor vizează nemijlocit determinarea corelațiilor dintre o regiune circumscripă a creierului lezat și paternul alterării unor aspecte cognitive și performanțe comportamentale. Anatomia și histologia creierului are relații directe cu funcționarea lui. Creierul este materia cea mai complex organizată din univers.

**Fig. 94.** Hemoragie intraventriculară bilaterală



De aceea, perfecționarea metodelor de investigație anatomohistologică și noile descoperiri, care se vor face în acest domeniu, se vor înscrie ca o contribuție indispensabilă la dezlegarea a ceea ce Claude Bernard consideră a fi una din cele mai mari taine ale universului: „cum produce creierul gândirea“.

Abordul lezional a reprezentat prima metodă neuroștiințifică de determinare a specializării funcționale a diferitelor structuri și zone ale creierului și de stabilire a legăturilor dintre acestea și diferitele funcții psihice. Ea datează din timpul lui Morgagni, care a demonstrat asocierea afecțiunilor cerebrale unilaterale cu tulburările motorii și senzoriale contralaterale. Bouillaud și Broca au descoperit corelația dintre vorbire și leziunea focală a lobului frontal stâng, marcând astfel începutul erei moderne a metodei lezionale.

În ultimile decade ale secolului al nouăsprezecelea s-au făcut descoperiri senzaționale cu ajutorul leziunilor. Deși majoritatea datelor au rămas valabile și astăzi, teoriile care le-au însoțit au fost supuse revizuirii.

Pionierii neurologiei și-au imaginat că centrii cerebrale sunt capabili a performa, relativ independent, funcții psihologice complexe.

Slabele interacțiuni ale centrilor respectivi lipsiți de continuitate au fost limitate la câteva căi unidirecționale. Aceste concepte localizaționiste au fost criticate de Jackson. Când datele teoretice și-au pierdut valabilitatea, metoda lezională care era strâns legată de teorie a căzut în disgrație. Ea a început să reintre în drepturi de abia prin anii '60 ca reacție la impasul echipotențialismului antilocalizaționist și a behaviorismului „black-box“. Revenirea a prins un contur mai net după reflexiile lui Geschwind asupra teoriilor lui Wernicke, Lichteim, Liepmann și Dejerine și după publicarea studiilor unor neuropsihologi notabili ca Luria, Hecaen, Milner, Benton, Teuber și Zangwill. Valoarea deplină a metodei lezionale a fost apreciată numai după apariția noii tehnologii neuroimagingice a tomografiei computerizate (TC), introdusă în practică în anul 1973, și a rezonanței magnetice (RM), accesibilă cu un deceniu mai târziu. S-a constatat astfel că regiunea cerebrală lezată trebuie concepută ca o mică parte dintr-o rețea întinsă de centrii corticali și subcorticali, care operează împreună în scopul producerii unei funcții particulare. Având la îndemână cadrul teoretic al funcției respective, leziunea este făcută în scopul testării unei ipoteze specifice. Cu ajutorul leziunii respective investigatorul verifică dacă distrugerea unei componente a rețelei respective responsabilă pentru funcția X, alterează rețeaua comportamentală conform predicției (Damasio și Damasio, 1997).

Prin urmare, aplicată experimental sau în clinica de neurochirurgie, pe om, metoda lezională vizează determinarea specializării funcționale a diferitelor structuri și zone ale creierului și stabilirea legăturii dintre acestea și diferitele funcții neuropsihice (Fig. 95, 96, 97). Ca și celelalte metode, tehnica lezională are limite și erori. Ea reprezintă o entitate cu virtuți și capcane, iar constructele teoretice de care face uz adaugă altele noi. Descoperirile clasice ale legăturilor dintre anumite regiuni corticale și unele disfuncții neuropsihice sunt validate, acestea rămânând ca fundamente ale neurologiei clinice.

Pe baza lor, experții în neuropsihologie pot arăta că disfuncția are loc într-o anumită arie cerebrală. Totuși, aceste legături valide nu demonstrează că funcția perturbată de leziune este înscrisă exact în țesutul distrus.

Funcțiile complexe, care constituie obiectul studiilor neuropsihologice umane nu au o localizare precisă. Arhitectura relevantă de neuroanatomie și neurofiziologie și arhitectura cognitivă cercetată experimental de neuropsihologi sugerează că funcția centrilor singolari, căile cu un singur scop și cascadele unidirecționale ale proceselor informaționale sunt ireale. Mai mult, performanțele individuale rămase după diferite afecțiuni cerebrale focale și paternul recuperator pe care-l obținem ulterior, sugerează că experiența și cunoștințele noastre au o distribuție neurală largă și multinivelară, iar funcțiile psihice complexe apar ca rezultat al cooperării mai multor rețele neuronale integrate. În prezent, aplicarea metodei lezionale nu se mai face de pe pozițiile extremiste ale localizaționismului îngust sau ale echipoten-



șialismului, ci în concordanță cu principiile modelului localizării dinamice, multinivelare ceea ce conferă datelor obținute un grad mai ridicat de relevanță și obiectivitate.



Fig. 95. Hemoragie la nivelul nucleilor bazali care respectă talamusul.

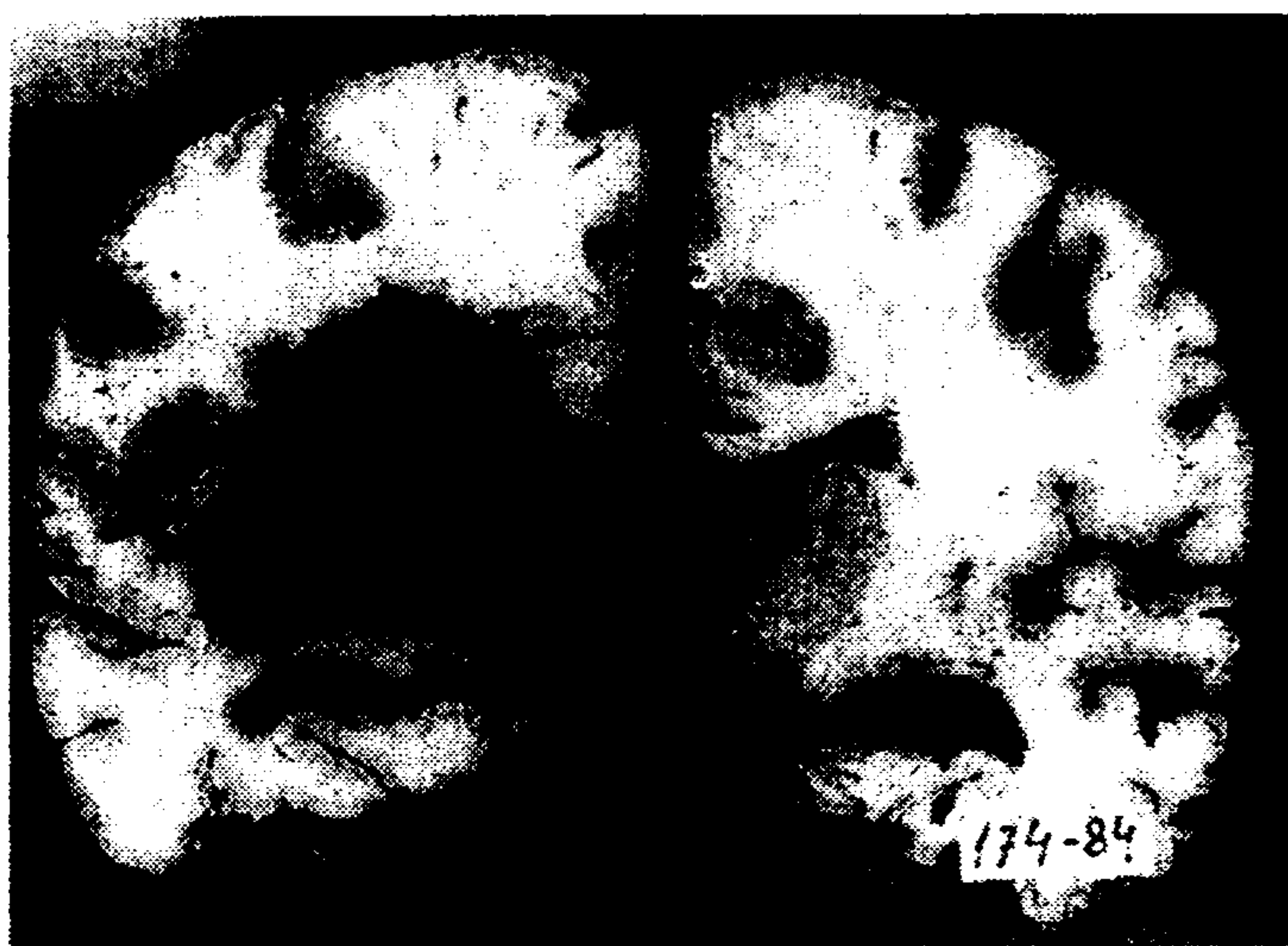


Fig. 96. Hemoragie la nivelul nucleilor bazali, talamusului, substanței albe și ventriculilor.

Dezvoltarea recentă a două căi de studiu relevă că cercetarea leziunilor cerebrale umane trebuie reconsiderată (Damasio și Damasio, 1997).

Prima arată că aplicarea metodei lezionale la primate are avantaje majore în înțelegerea bazei neurale a vederii și memoriei. Apoi studiile pe primate au o relevanță mai directă în modelarea creierului uman, deoarece circuitele funcționale ale acestora au multe caracteristici comune cu cele umane. Și în prezența materialului genetic fundamental format din cromozomi, cimpanzeii sunt mai apropiați de oameni. Deși pe scară evolutivă primatul este mai apropiat de *Homo sapiens* ele au fost utilizate mai rar deoarece sunt mai puțin accesibile și mai scumpe.

A doua se referă la aportul TC și RM la studierea leziunilor cerebrale in vivo. Acum apare clară necesitatea metodei lezionale pentru neuroștiința cognitivă, mai ales când rezultatele cercetării provin din studii umane. Noua metodă lezională nu are caracter localizaționist, deoarece reprezintă un mijloc de testare, la nivelul diferitelor sisteme, a ipotezelor cu privire la structura neurală și arhitectura proceselor cognitive. Dacă de la Déjerine și până la Geschwind investigatorii au



Fig. 97. Hemoragie bilaterală de nucleii bazali

speculat cazuri singulare, acum totul poate fi reprodus sistematic la un grup corespunzător de subiecți. Ipotezele vechi și noi, inclusiv cele avansate de pionierii neuropsihologiei, pot fi verificate experimental. În afara valorii lor intrinseci, rezultatele obținute pe om, prin noua metodă lezională, reprezintă o completare și o verificare binevenită a datelor neuroanatomice și neurofiziologice obținute pe animale. Multe caracteristici lezionale din sistemul neural uman nu pot fi investigate pe animale. Exemplul proceselor lingvistice este cel mai concludent. Mai mult, metoda lezională oferă posibilitatea verificării experimentale a unor operații cognitive ale căror caracteristici temporale nu pot fi investigate prin alte procedee (exemplu, experiențe care impun monitorizarea variabilelor psihofiziologice).

Apoi, leziunea poate fi asociată cu alte două metode de cercetare a creierului omenesc: studiul electrofiziologic și imaginea funcțională.

Studiul electrofiziologic se referă la potențialele evocate, la cercetarea modificărilor comportamentale și cognitive induse de stimularea electrică a cortexului cerebral expus și la înregistrarea directă a activității acestuia. Imaginea funcțională se bazează pe tomografia cu emisie pozitronică (PET-positron emission tomography), pe tomografia computerizată cu o singură emisie fonică (SPECT-single photon emission computed tomography), și pe imaginea funcțională a rezonanței magnetice (f MRI- functional magnetic resonance imaging).

Analiza rezultatelor metodei lezionale combinată cu datele obținute prin celelalte procedee oferă date noi, cu privire la conceptualizarea creierului uman și face lumină în cadrul discrepanțelor, care necesită noi teoretizări și noi experiențe. Multe aspecte stabilite prin metoda lezională trebuie măsurate prin procedeele dinamice oferite de PET și f MRI.

Metoda lezională are limite prin faptul că nu orice regiune anatomică din sistemul nervos uman poate fi distrusă, iar dimensiunea leziunii nu poate fi limitată numai la o anumită structură cerebrală.

Totuși, detecție alterărilor structurale moleculare și sistemice în combinație cu seturile de aborduri dinamice vor arăta și explica cum funcționează și cum trebuie să funcționeze creierul normal ca organ al activității psihice. Studiul creierului bolnav apare în acest context ca modalitate auxiliară de facilitare a găsirii răspunsurilor adecvate la aspectele pe care le implică raportul normal psihic-creier.

De aici derivă și importanța metodelor neuropatologice.

### **Metode neuropatologice**

Folosite în clinica umană, aceste metode sunt subordonate primordial unor obiective practice: stabilirea diagnosticului, care va consta în acest caz, în identificarea tipului leziunii (bolii) cerebrale și eventual în localizarea topică a focarului; stabilirea procesului terapeutic, care poate fi exclusiv medicamentos sau esențialmente chirurgical și secundar medicamentos. Întrucât îmbolnăvirea creierului



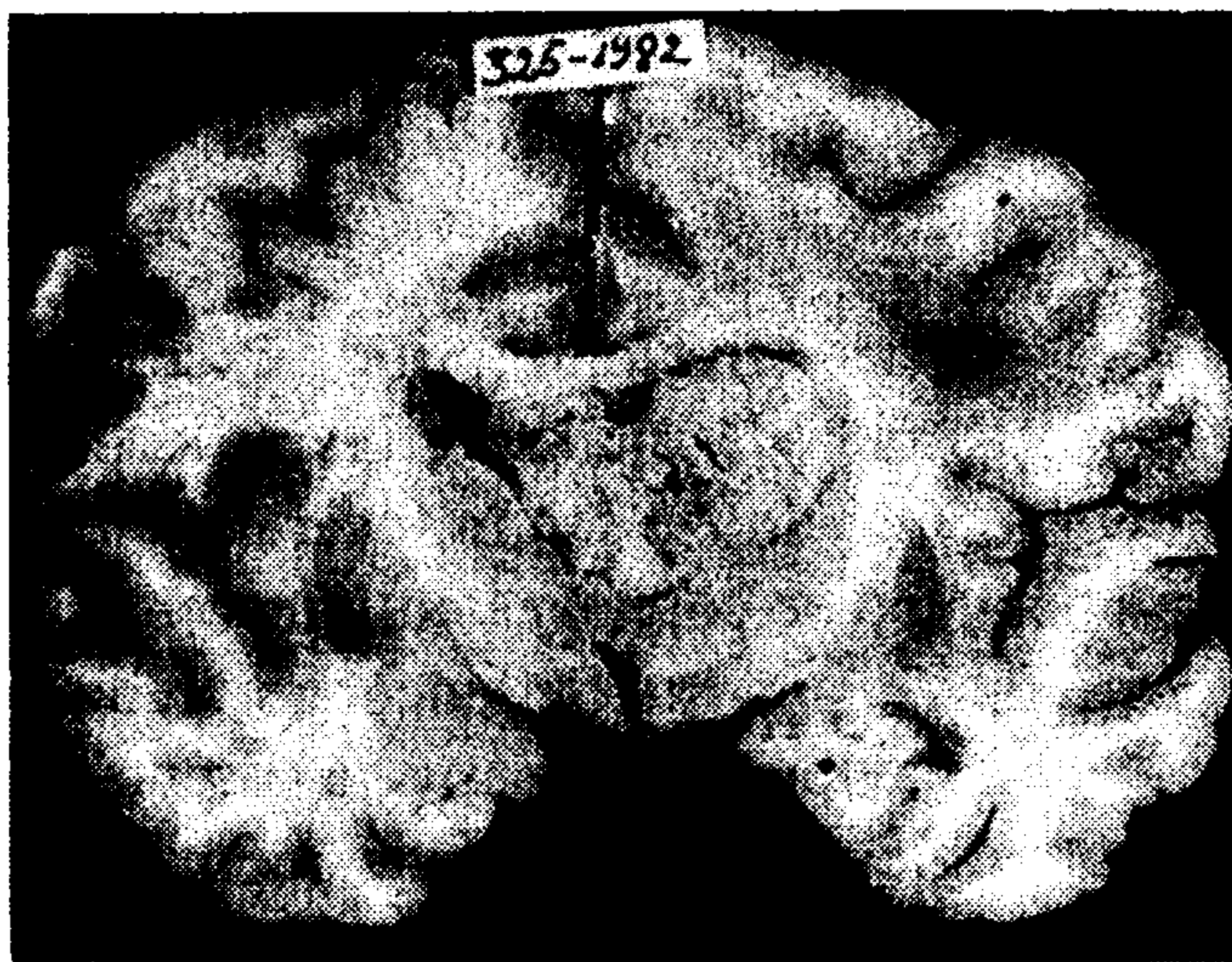
produce tulburări de un gen sau altul în planul organizării psihocomportamentale, metodele neuropatologice dobândesc o valoare cognitivă indiscutabilă, furnizând date și informații cu caracter științific general pentru adâncirea înțelegerii și explicării raportului psihic-creier. Din corelarea simptomelor și sindroamelor cu bază patologică organică se deduc argumente solide pentru fundamentarea ipotezelor și teoriilor despre mecanismele funcțiilor psihice normale.

Totuși, caracteristicile organizării cerebrale extrase din studiul pacienților cu leziuni cerebrale ridică multe probleme de interpretare.

Dimensiunea și localizarea acestor leziuni variază de la un pacient la altul făcând uneori dificilă determinarea corelației precise dintre aria lezată și funcția normală deservită de ea (Fig. 98, 99, 100, 101). Apoi, fiecare pacient posedă particularități unice de organizare cerebrală, iar atribuirea funcției disrupse sau pierdute ariei particulare lezate este incertă. Datorită interconectării ariilor cerebrale, lezarea uneia se poate răsfrânge și asupra celor care nu sunt atinse de leziune. Astfel, oricât de precisă ni s-ar părea organizarea normală a creierului uman, din studiul informațiilor obținute de la pacienții cu stroke sau cu alte tipuri de leziuni reiese că aceasta rămâne o problemă deschisă.



**Fig. 98.** Tumoră de nucleu bazal și mică hemoragie subcorticală parietală dreaptă care deplasează mult toate formațiunile liniei mediane spre stânga.



**Fig. 99.** Tumoră intraventriculară (ependimom).

✓ Desigur, așa cum am arătat și mai înainte, în interpretarea datelor clinicii neurologice și neurochirurgicale trebuie să manifestăm discernământ și prudență, întrucât localizarea tulburărilor unei funcții psihice oarecare nu este totuna cu localizarea funcției respective normale. Pe de altă parte, în însuși tabloul simptomatologic se impune să introducem criterii de distincție și delimitare între

așa numitele tulburări primare, care se leagă nemijlocit de focarul lezional identificat și tulburările secundare, care apar ca urmare a perturbării interacțiunii structurii lezate cu alte structuri. Apoi, o atenție aparte se cere a fi acordată dinamicii ca atare a tulburărilor, mai ales în cazul leziunilor de focar. Astfel, trebuie consemnate cel puțin următoarele trei momente ale acestei dinamici și anume: tabloul preoperator, tabloul postoperator imediat și tabloul postoperator îndepărtat.



Fig. 100. Tumoră hemoragică situată supracalos la nivelul girusului cinguli.

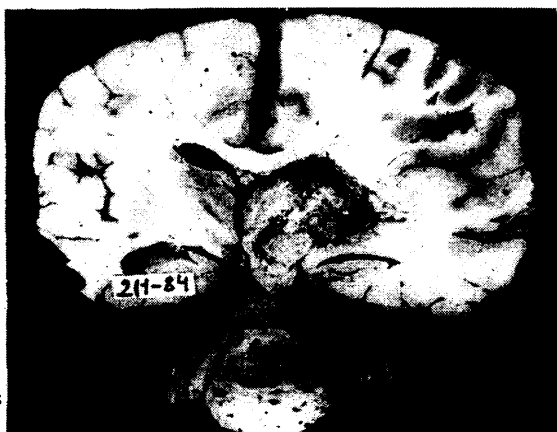


Fig. 101. Tumoră de nucleii bazali stângă (glioblastom) și numeroase hemoragii punctiforme la nivelul trunchiului cerebral.

Prin caracterul critic, excepțional al situației în care se află subiectul cercetat, metoda analizei tulburărilor neuropsihocomportamentale rezultate în urma unor leziuni difuze sau în focar ale creierului se apropie de metoele acute (mai ales atunci când se corelează cu intervenția neurochirurgicală), iar prin natura cauzelor, care duc la apariția fenomenelor studiate, ea se apropie de experimentul natural.

Pavlov avea perfectă dreptate când afirma că, în general, clinica de neurologie și neurochirurgie reprezintă un vast experiment natural, în care ni se oferă „ca pe tavă”, într-o formă pregnantă și într-o mare diversitate, fenomene care în condiții normale, fie că sunt cu totul inaccesibile, fie că se obțin cu multă greutate. În analiza acestor tulburări apelăm la procesele de examinare neuropsihologică adaptate situației din clinică și specificului cazurilor cercetate.

Fiecare procedeu și etapă ale examenului psihologic se cer a fi alese cu discernământ și în concordanță cu obiectivele urmărite: a) identificarea și descrierea tipului de tulburări și gradului de gravitate al lor; b) identificarea structurilor psihocomportamentale afectate; c) delimitarea tulburărilor nespecifice, care se referă la condițiile de fond ale activității psihice (de exemplu raportul dintre starea de veghe și starea de somn, tonusul psihic general, reactivitatea generală etc.) și a celor specifice, care se referă la anumite funcții și procese



(percepție, memorie, gândire, afectivitate), la anumite componente ale personalității (conștiința de sine, orientarea în fluxul evenimentelor curente, raportarea la ceilalți semeni, dinamica nivelului de aspirație etc.), sau la structura principalelor forme de activitate pe care le performează în mod obișnuit omul (activitatea de joc, activitatea de învățare, activitatea de muncă, activitatea de creație).

În cazul tulburărilor specifice, investigația psihologică trebuie să determine: a) deteriorările (alterările) în planul conținutului informațional-îngustarea volumului informațional specific, coborârea la niveluri inferioare de codificare-îngustarea informației, abolirea dimensiunilor instrumentale ale informației, deteriorarea semantică a informațiilor etc.; b) deteriorările în planul operator ale transformărilor ce trebuie aplicate conținuturilor informaționale în vederea obținerii efectului adaptativ sau a performanței; c) deteriorările în sfera dinamicii-tempou, ritm, vivacitate, mobilitate, forma generală a traiectoriei (echilibrată, regulată, inegală, sinusoidală, abruptiformă etc); d) deteriorările în sfera autoreglării-discordanța dintre semnul actelor comportamentale și specificul situației obiective, prevalarea feedback-ului pozitiv entropic asupra celui negativ (de stabilizare) și de optimizare, disocierea dintre mijloc și scop, dintre rezultatele parțiale, secvențiale și rezultatul final etc.; e) deteriorările interacțiunii (relațiilor) structurii date cu celelalte structuri psihice; f) dinamica generală a tulburărilor psihocomportamentale în timp, relevându-se tendințele ulterioare: staționare, agravare, ameliorare.

La baza metodologiei de investigare-analiză a tulburărilor neuropsihocomportamentale provocate de leziuni (difuze și localizate) ale creierului, trebuie puse următoarele principii diriguitoare: principiul adecvării, principiul gradației, principiul obiectivității și principiul funcționalității dinamice.

1) Principiul adecvării reclamă că pentru explorarea, în scopuri diagnostice, a fiecărui proces sau a fiecărei structuri psihice trebuie să se utilizeze probe (sarcini) specifice, diversificate și diferențiate, care să permită testarea stării tuturor verigilor componente - pe orizontală și pe verticală- decelarea tulburărilor primare de cele secundare.

2) Principiul gradației implică două aspecte. Primul rezidă în aceea că, în explorarea oricărui proces psihic, trebuie să se respecte o logică riguroasă: de la sarcini simple cu coeficient de dificultate redus, la sarcini complexe, cu nivel de dificultate mai înalt. Cel de al doilea aspect impune ca, în conceperea și desfășurarea examenului psihologic în clinica neurologică și neurochirurgicală, să se ia în considerație o serie de variabile ale subiectului: vârstă, sex, nivel general de dezvoltare, profesie etc. Trebuie avut în vedere faptul că, în cazul unei afecțiuni cerebrale, distanța dintre starea actuală, patologică, a unui anumit proces psihic și starea lui anterioară îmbolnăvirii este cu atât mai mare, cu cât procesul respectiv se situa la un nivel de elaborare (dezvoltare) mai înalt. De exemplu, tulburarea în sfera intelectuală (a gândirii) provocată de o leziune de aceeași natură, având aceeași întindere și localizare, va fi, din punct de vedere cantitativ și calitativ, mult

mai severă la un individ cu un nivel ridicat de instruire decât la unul, de aceeași vârstă, total neinstruit sau slab instruit.

3) Principiul obiectivității presupune: a) stabilirea pentru fiecare probă a unor indicatori și parametri de ordin cantitativ și calitativ exteriorizabili și înregistrabili (de exemplu performanța absolută, performanța relativă, specificul procedurii de orientare în sarcină și de rezolvare, ritmul desfășurării activității, rezistența la încărcătura de sarcini, posibilitatea de autocorelare etc); b) denotabilitatea datelor-posibilitatea lor de verificare în situații similare, exprimarea rezultatelor în unități de măsură bine definite, operaționalizarea conceptelor utilizate; c) predictibilitatea, adică verificabilitatea rezultatelor probelor psihologice prin alte metode la care apelează clinica -fiziologice (procedee reflexologice, investigarea a.n.s.), electrofiziologice (EEG, ECG), imagistice (TC și IRM), biochimice etc. Psihologul clinician are obligația să urmărească și rezultatele obținute prin aplicarea acestor metode ca informație inversă pentru perfecționarea în continuare a instrumentului propriu de investigație.

4) Principiul funcționalității postulează că orice probă neuropsihologică destinată analizei tulburărilor neuropsihocomportamentale provocate de afecțiuni organice ale creierului trebuie să aibă o construcție problematică. Aceasta înseamnă că ea trebuie să solicite nu numai latura rezultativă sau extensivă a funcției neuropsihice considerate, ci și pe cea procesual-constructivă. Această exigență devine cu atât mai importantă, cu cât se știe că structurile neuropsihocomportamentale vechi, puternic consolidate, și cele noi, în curs de perfecționare și consolidare, nu sunt supuse în aceeași măsură efectului patologic dezorganizator. Primele dispun de o rezistență mai mare, întrucât însăși baza lor neurofiziologică de integrare este mai largă (connexiunile neuronale fiind comutate la niveluri inferoare, subcorticele); ca atare în stare patologică, ele se dezorganizează mai greu și mai târziu în timp. Dimpotrivă, cele noi posedă o rezistență mai scăzută, deoarece însăși baza lor neurofiziologică de integrare este mai îngustă (pe orizontală) și mai superficială (angajând, pe verticală, mai mult zonele corticale); ca urmare, focarul patologic va afecta mai puternic și în primul rând structurile sau componentele psihice noi din punct de vedere genetic.

În elaborarea sau alegerea probelor neuropsihologice pentru investigarea tulburărilor neuropsihocomportamentale provocate de leziuni în focar, se cer a fi respectate câteva cerințe suplimentare și anume:

a) Nu există leziune cerebrală, care să nu provoace anumite tulburări în sfera activității psihice, în ciuda faptului că acestea nu se exteriorizează nemijlocit în desfășurarea spontană a comportamentului.

Proba psihologică trebuie concepută și aplicată în așa fel, încât să pună în evidență și cele mai fine și fruste alterări ale sistemului psihic atât cu caracter global, nespecific, cât și specific.

b) Lezarea unei zone limitate a scoarței cerebrale provoacă inițial alterarea doar a unei anumite verigi a funcției psihice la a cărei integrare participă nemijlocit



și numai în mod secundar duce la dereglarea funcției în ansamblu. Astfel, devine posibil ca tulburarea uneia și aceleiași funcții să fie produsă de focare lezionale situate în regiuni și zone diferite ale creierului și invers - tulburarea mai multor funcții să aibă la bază un focar patologic comun. De aici rezultă cerința finalității diferențial-topice a examenului psihologic.

Probele elaborate trebuie să permită o raportare cât mai precisă și neechivocă a tulburărilor înregistrate la localizarea topică a focarului din creier și totodată o bună delimitare a tulburărilor primare de cele secundare.

c) Dinamica tulburărilor neuropsihocomportamentale trebuie urmărită în funcție de dinamica evoluției focarului patologic, care depinde de natura lui etiologică (ablație tumorală, accident vascular cerebral etc.). Testarea funcțiilor psihice trebuie efectuată periodic, la unul și același pacient pentru a surprinde sensul evoluției bolii (compensator sau agravant) și amplitudinea modificărilor într-un sens sau în celălalt.

d) Gradul de tulburare a diferitelor funcții neuropsihice va fi diferit în funcție de localizarea focarului patologic în emisfera dominantă sau în cea subdominantă. De aceea, înainte de a proceda la efectuarea examenului neuropsihologic propriu-zis, este necesar să se determine semnul dominanței interhemisferice.

e) Întrucât o leziune sau un alt focar patologic evolutiv al creierului determină o înrăutățire generală a activității psihice, este necesară efectuarea unui examen cu caracter explorator-global, orientativ. Scopul lui principal îl va constitui identificarea și reliefarea simptomelor dominante, care vor face apoi obiectul investigației analitice, diferențial-diagnostice.

f) Aplicarea probelor psihologice nu trebuie să aibă un caracter stereotip, standard, ci să se moduleze după caz, pentru a putea urmări mai bine atât factorii care frânează sau perturbă procesul de rezolvare al sarcinii, cât și condițiile favorabile compensării deficitului existent.

De puțin timp, oamenii de știință interesați de organizarea și funcționarea normală a creierului uman au posibilitatea explorării analitice a acestora, prin scrutarea interiorului cutiei negre cu ajutorul imagisticii PET (positron emission tomography) și IRM. Aceste tehnici pot localiza precis modificările fiziologice și comportamentale din creierul uman normal, induse de diferite activități neuronale (Posner și Raichle, 1994). Important de subliniat este faptul că mapping-ul cerebral studiat cu ajutorul PET și f IRM nu reprezintă o versiune modernă a frenologiei. Frenologii secolului trecut susțineau că ariile cerebrale identificate adesea prin bosele craniene reprezentau procesele gândirii și emoției. Acum, se știe că fiecare arie cerebrală reprezintă o componentă elementară care joacă un rol determinant în operațiile mintale de realizare a comportamentelor observabile, exact ca instrumentele dintr-o orchestră. Prin urmare, comportamentele umane și procesele gândirii emerg din interacțiunea cooperantă a mai multor arii, fiecare efectuând operații mentale elementare unice. Condiția fermă a operației analitice constă în disecarea componentelor complexe în seturi de operații mentale și în studierea lor separată.

Inițial, teoreticienii care s-au referit la relația activitate mintală-creier au considerat substanța cerebrală ca pe o „cutie neagră”.

În anul 1861, chirurgul și antropologul francez Paul Broca a descris prima relație clară dintre tulburarea vorbirii și o leziune cerebrală specifică, determinată de un accident vascular cerebral. După publicarea acestei observații s-a acumulat o literatură științifică vastă privind implicarea lezională și neuropatologică a diferitelor arii cerebrale umane în comportament și vorbire. Totuși, limitarea tradițională a acestor metode este reprezentată de încrederea excesivă în cazurile singulare. Multe din observațiile importante din trecut nu au fost verificate și nici reproduse, fapt care a diminuat mult semnificația rezultatelor. Excepție remarcabilă face colecția lui Milner de pacienți epileptici cu ablații de lob temporal sau frontal, proiectul lui Newcombe de traumatisme cranio-cerebrale, grupul lui Gazzaniga de pacienți epileptici cu calosotomie (split-brain) și populația lui Damasio de pacienți cu leziuni diferite ale sistemului neural. Aceste seturi de date individuale fac posibilă proiectarea și efectuarea experiențelor prin care anumite ipoteze privind anatomia și fiziologia sistemului nervos central pot fi verificate și înțelese mai bine.

Disponând de o analiză neuroanatomică optimă metodele lezională și neuropatologică ne dirijează spre succes numai atunci când sarcinile cognitive utilizate în experiență și când calitatea cadrului teoretic al ipotezelor pot fi verificate. Implicarea investigațiilor în aria științei cognitive și în neuropsihologia experimentală, relevă numeroase aspecte din domeniul cogniției și comportamentului care pot fi studiate cu ajutorul metodelor lezională și neuropatologică. Există și progrese teoretice relevante legate de conceptualizarea arhitecturii neurale și cognitive, la om. Astfel, disjunctia tradițională dintre behaviorism și cognitivism a fost mult depășită de pozițiile teoretice care le combină, cel mai bine, pe amândouă.

Conceptualizarea structurilor neurale și operaționale asemănător proceselor mintale și comportamentale, s-a schimbat radical, prin relevarea semnalelor neurale paralele, secvențiale și masiv recurente. Prevalența buclei feedback și feedforward dispuse pe fluxul neural longitudinal și transversal au fost evaluate just și la timp ca de altfel și natura convergent/divergentă a fluxului neural. Astfel, s-a descoperit că operațiile normale ale acestor rețele sunt dependente de timing-ul mecanismelor lor (Rockland, 1993; Damasio și Damasio, 1994).

## Examinarea neuroradiologică

Exceptionala diversitate a leziunilor cerebrale precum și gravitatea deosebită a tulburărilor motorii, senzoriale și psihice, pe care le antrenează, face ca demersul diagnostic să fie cât mai urgent și cât mai precis. Leziunile cerebrale se pot prezenta sub formă de anomalii congenitale (peste 2000 repertoriate până astăzi în literatura medicală) sau sub formă de leziuni infecțioase, traumatice, vasculare, neoplezice, degenerative sau metabolice, toate alcătuind capitole foarte vaste ale



neurologiei și neurochirurgiei (Bard și Vezina, 1996). Cu cât depistarea acestor leziuni este mai precoce și mai sigură cu atât posibilitatea supraviețuirii bolnavului cu sechele minore este mai mare. În scopul diagnosticării și diferențierii acestor afecțiuni, neuroradiologul dispune de radiografie, angiografie, tomografie computerizată (TC) și de IRM.

**Radiografia simplă** permite examinarea obiectivă a oaselor și a unor țesuturi moi din corpul uman. Descoperite întâmplător de Rontgen, în 1895, razele X au adus mari servicii omenirii. Astfel, pe clișeele simple ale craniului pot fi evidențiate leziuni osoase (Fig. 102, 103, 104), corpi străini intracranieni și calcificări intracraniene patologice determinate de leziuni, precum: craniofaringiomul, scleroza tuberoasă, meningiomul, oligodendrogliomul, cisticercoza, boala Sturge-Weber etc.. Radiografiile de craniu deși sunt ușor accesibile și puțin costisitoare nu trebuie repetate des deoarece dozele mari de raze X pot duce la dezvoltarea meningioamelor (Dănăilă și colab., 1993).



Fig. 102. Radiografia simplă de craniu relevă prezența modificărilor osoase (a) de la un bolnav cu tumoră craniană fronto-temporo-parietală dreaptă (b). La examenul histopatologic s-a dovedit a fi un osteosarcom.

**Angiografia cerebrală** a fost introdusă de Moniz în anul 1927.

Ea se face prin injectarea intraarterială a unui bolus de substanță de contrast iodată și prin efectuarea în secvență rapidă (fracțiuni de secundă) a radiografiilor, în scopul aprecierii fazelor arterială, capilară și venoasă a circulației cerebrale (Fig. 105). Această metodă de investigație este esențială pentru diagnosticarea afecțiunilor vasculare cerebrale (anevrisme (Fig. 106), malformații arteriovenoase (Fig. 107), stenoze, ocluzii (Fig. 108), etc), pentru evidențierea vaselor de neo-



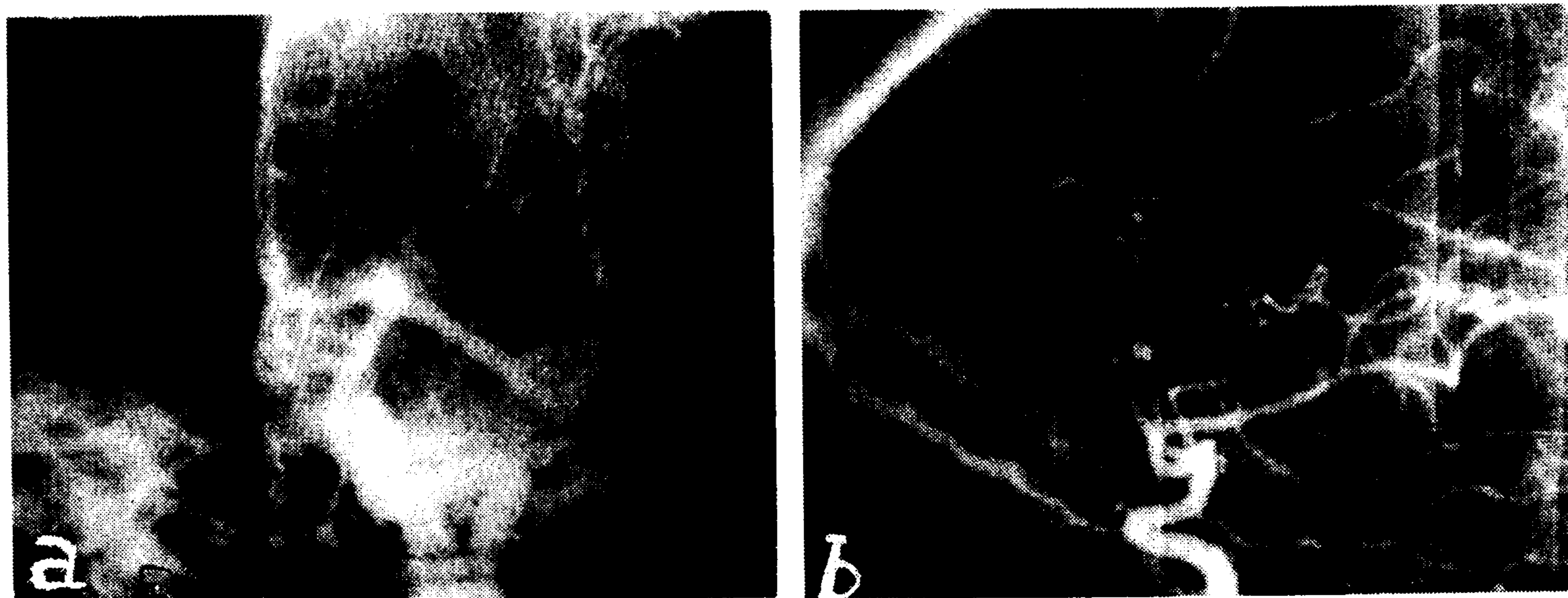
**Fig. 103.** Radiografia de craniu pune în evidență două zone de liză osoasă (una situată occipital și alta mai mică frontal). La examenul histopatologic s-a dovedit a fi un granulom eozinofil.



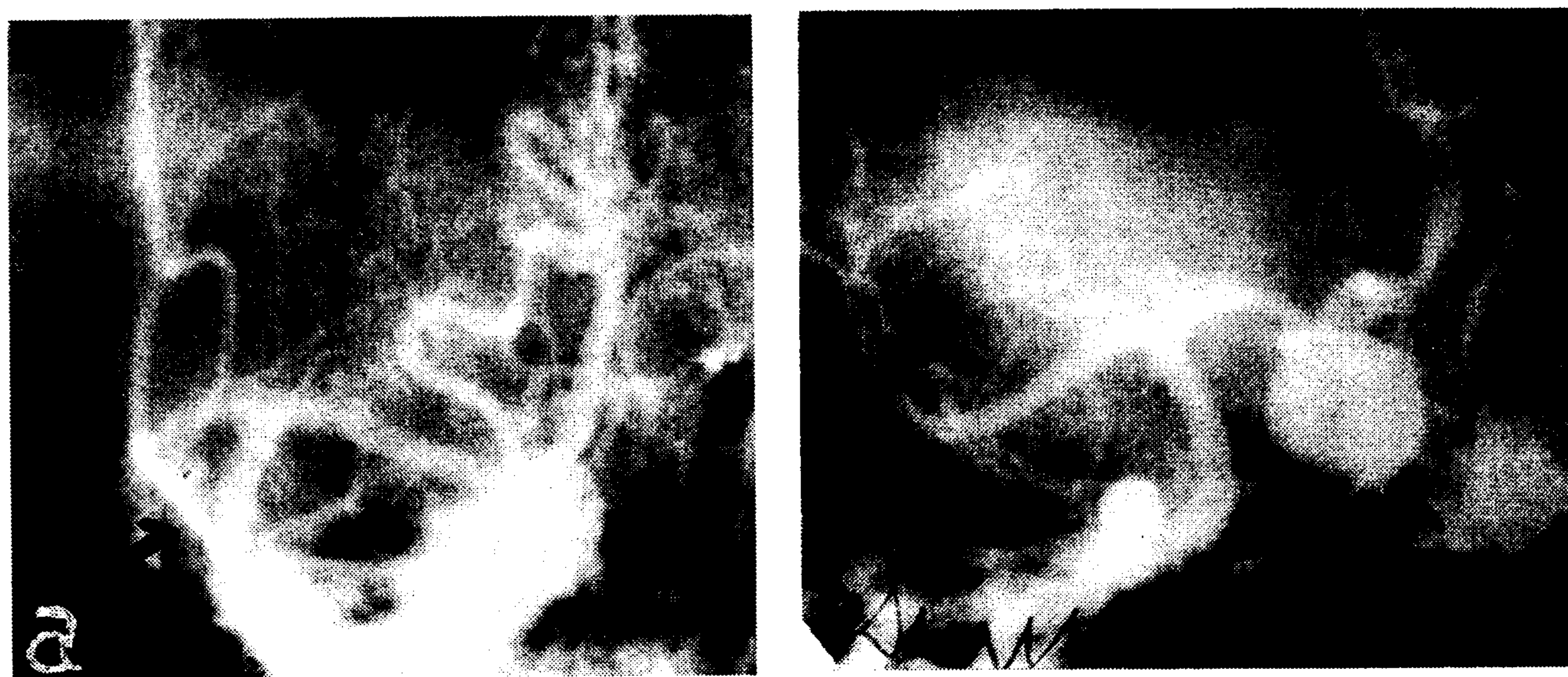
**Fig. 104.** Radiografia craniului de profil relevă lize osoase multiple, neregulate determinate de metastaze.

formație din procesele tumorale (fig. 109), pentru punerea în evidență a deplasărilor, pentru efectuarea embolizărilor terapeutice și pentru ghidarea intervențiilor exploratorii ale neurochirurgului. Angiografiei clinice i se adaugă acum angiografia prin rezonanță magnetică.

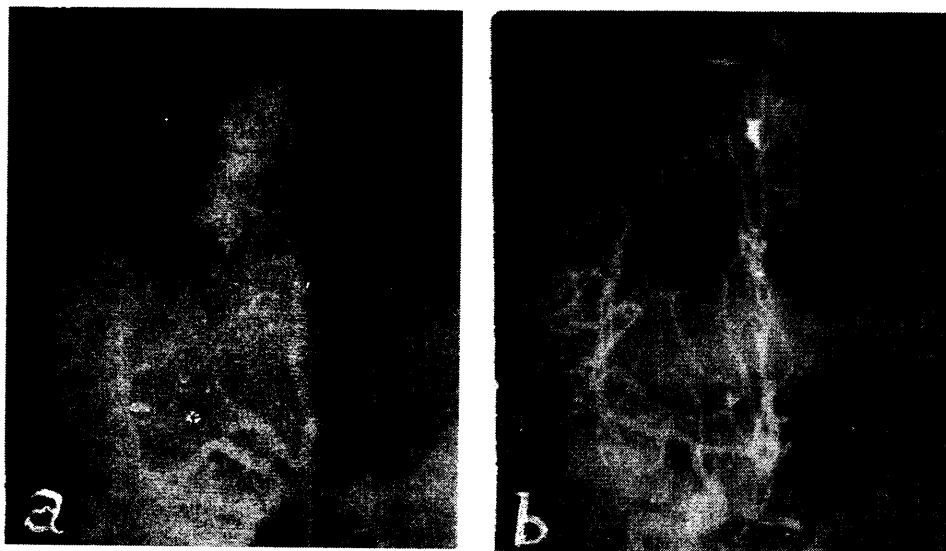




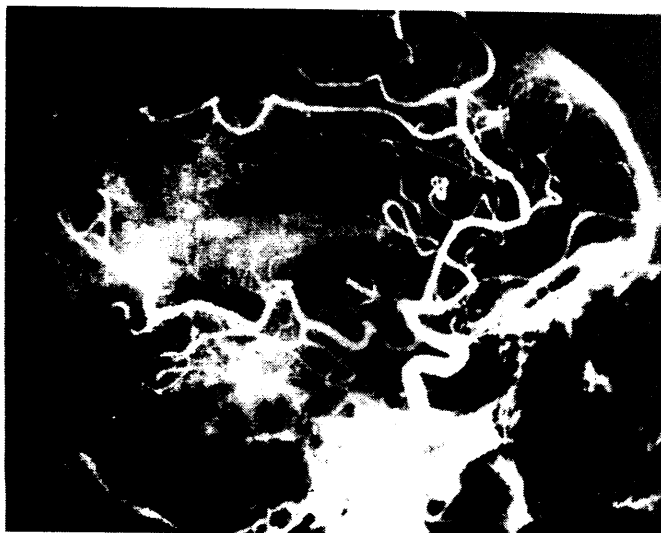
**Fig. 105.** Angiografie carotidiană de față (a) și profil (b) normală.



**Fig. 106.** Angiografia carotidiană stângă de față relevă prezența unui mare anevrism de comunicantă anterioară (a) care a fost operat (clipat) (b).



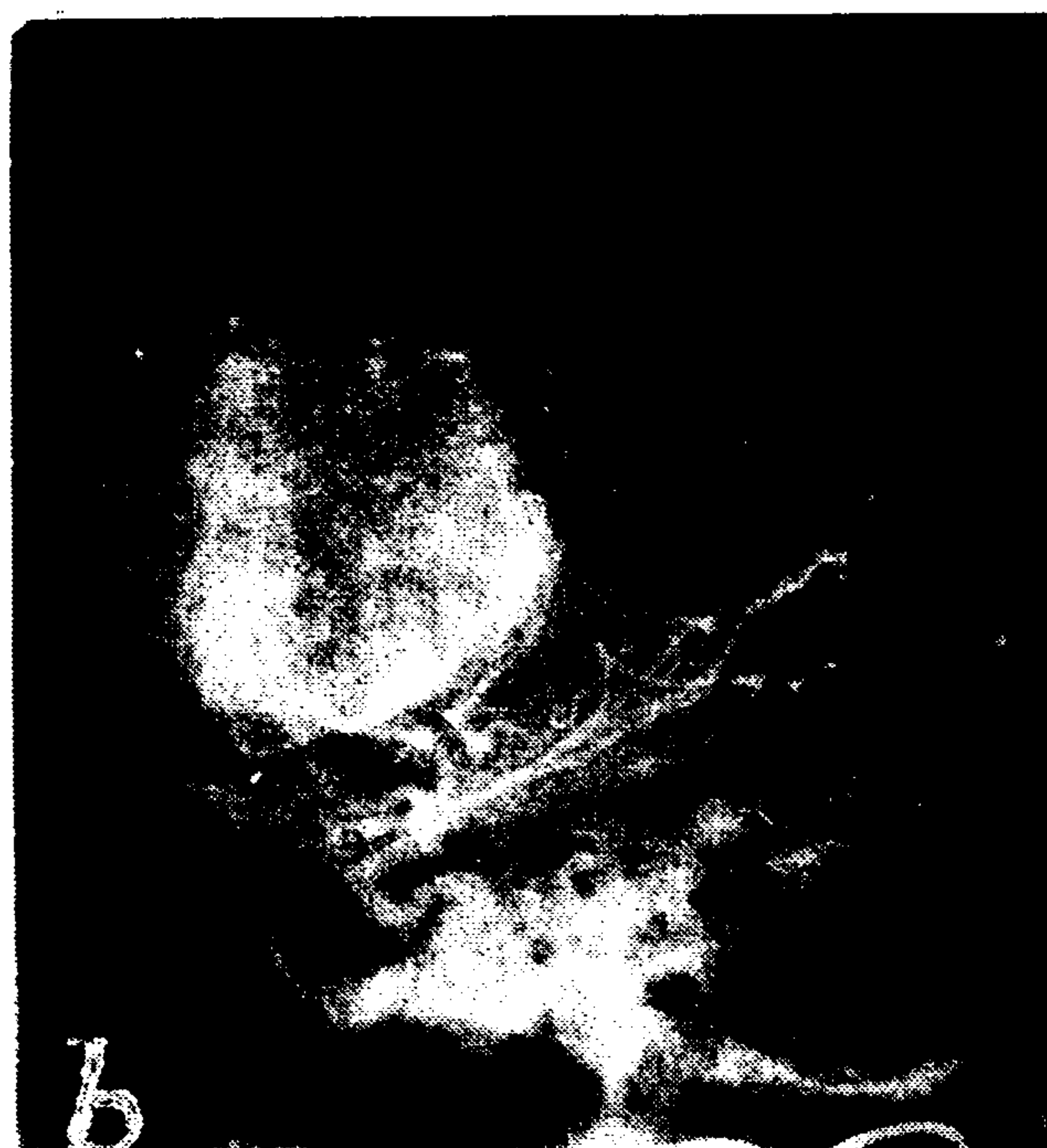
**Fig. 107.** Angiografia carotidiană dreaptă relevă prezența unei malformații arteriovenoase parietale (a) care a fost operată și rezecată (b).



**Fig. 108.** Angiografia carotidiană stângă evidențiază ocluzia arterei cerebrale medii.

**Tomografia computerizată** (tomodensitometria sau scanografia) a revoluționat neurologia, neurochirurgia și neuroradiologia, permițând vizualizarea directă a creierului (Fig. 110).





**Fig. 109.** Angiografie carotidiană dreaptă pune în evidență o tumoră frontală vascularizată (a+b) care a fost extirpată operator. Angiografia de control apare normală (c+d). Histopatologic s-a dovedit a fi un meningiom.

Era modernă a imagisticii medicale a început în anii '70, când a fost introdusă remarcabila tehnică cu raze X (radiații ionizante Röntgen) a tomografiei computerizate. Fizicianul sud african Allan M Cormack și inginerul englez Sir

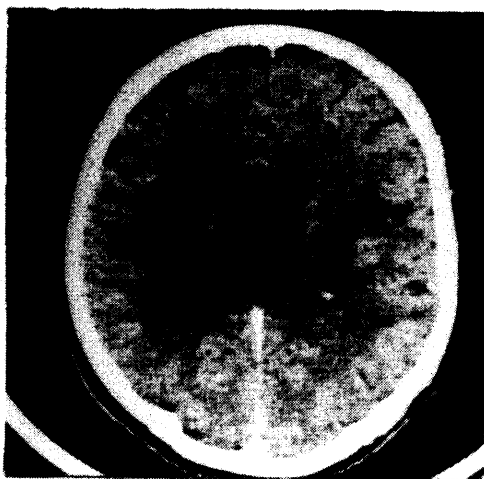


Fig. 110. Tomografia computerizată relevă un aspect cerebral și ventricular normal.

Gofrey Hounsfield au elaborat principiile acestei metode independent unul de altul. Pentru contribuția lor la aceste descoperiri ambii cercetători au primit în anul 1979 premiul Nobel. Ca și în cazul radiografiei, singurul parametru, care intervine în formarea imaginii este coeficientul de absorbție a fasciculului de raze X, direct proporțional cu densitatea țesuturilor expuse. Prin urmare, țesuturile cu densități diferite absorb cantități diferite de raze X. O rază X înalt focalizată va avea la ieșire un nivel redus care depinde de țesuturile și organele prin care a trecut. În TC sunt expuse tranșe subțiri și consecutive ale corpului uman care sunt apoi analizate și reconstruite pe calculator. Crucială pentru această metodă a fost tehnica matematică și de numărare, necesare creerii imaginii. Fără ajutorul computerelor sofisticate nu ar fi fost posibilă o astfel de realizare. În final TC a avut două consecințe. Prima constă în ameliorarea marcată a practicii medicale prin superioritatea ei față de radiografia standard cu raze X. Medicii au putut vedea pentru prima dată țesuturile umane vii și creierul fără nici un risc sau disconfort pentru pacient. A doua se referă la stimularea imediată a inginerilor și a oamenilor de știință pentru găsirea unor alternative de creere a imaginii interioare a corpului prin utilizarea strategiilor matematice și de calcul. Aceste eforturi au dus la depășirea cadrului anatomic realizat de TC, deoarece s-au axat și pe funcție (vezi tehnica PET și SPECT).

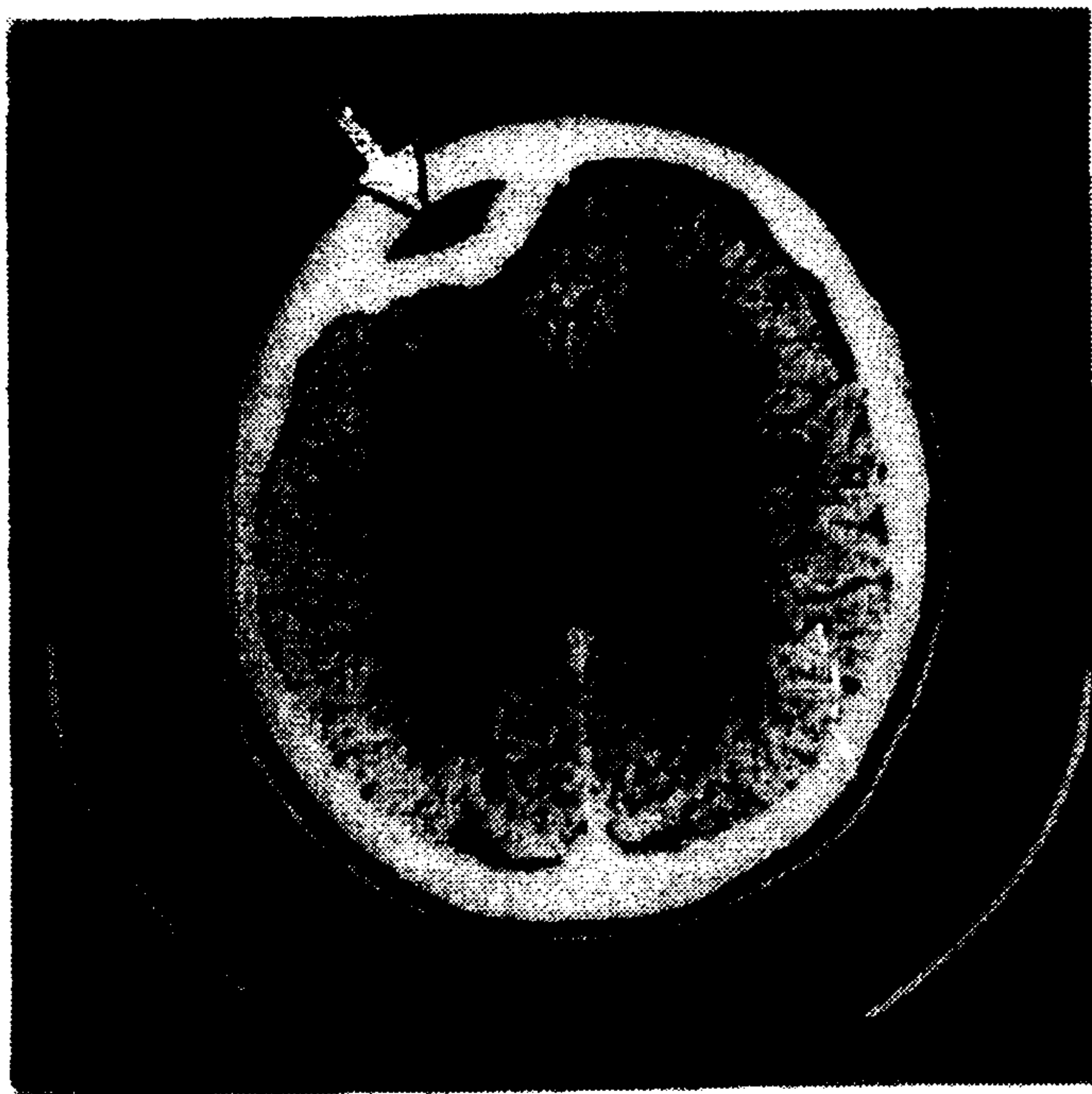
În concluzie, TC se bazează pe iradierea creierului din toate unghiurile cu raze X și pe relevarea diferențelor de densitate atât normale cât și patologice (fig. 111, 112, 113, 114). Din această cauză examenul respectiv este numit și tomodensitometric. Un computer reconstruiește secțiunile bidimensionale oferind în final o vedere tridimensională atât a structurilor cerebrale normale, cât și a celor patologice (fig. 115, 116, 117, 118). Când examenul este efectuat în timpul infuziei substanței de contrast iodată putem obține date în plus.

**Imagistica prin rezonanță magnetică (IRM)** oferă cea mai sofisticată unealtă imagistică din toate timpurile, fără a produce efecte secundare nocive demonstrate, pentru că nu utilizează raza X și nici substanțe radioactive. Pot fi deci efectuate examene iterative dacă sunt indicate, chiar la gravide sau copii (Fig. 119).





**Fig. 111.** Tomografia computerizată pune în evidență un anevrism gigant de arteră comunicantă anterioară.



**Fig. 112.** Tomografia computerizată pune în evidență o tumoră craniană diploică și un sistem ventricular normal.



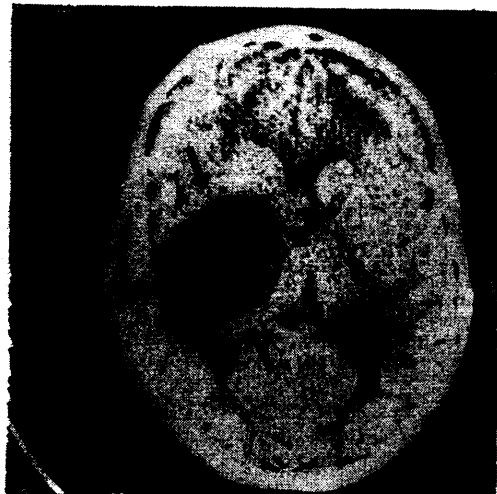
**Fig. 113.** Tomografia computerizată pune în evidență un mare osteom fronto-temporal drept care a fost extirpat.



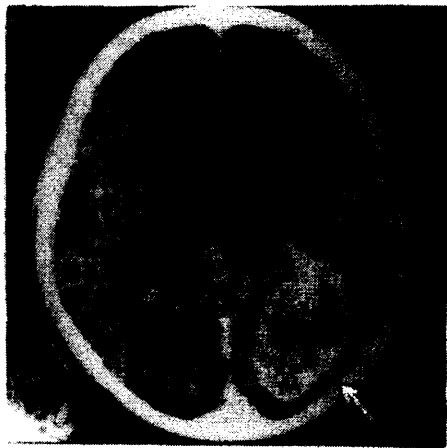
**Fig. 114.** Tomografia computerizată pune în evidență un meningiom de pterion drept.



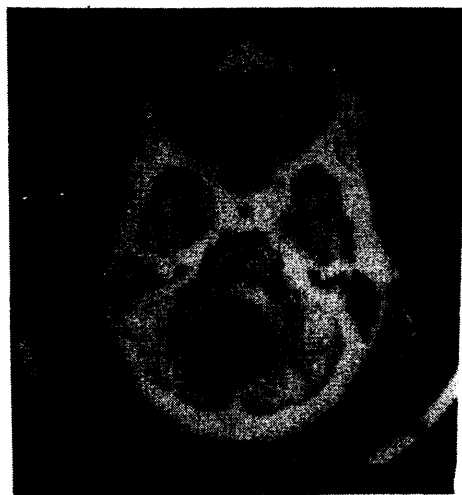
**Fig. 115.** Tomografia computerizată pune în evidență o tumoră bine delimitată cu mare edem în jur. La examenul histopatologic s-a dovedit a fi o metastază.



**Fig. 116.** Tomografia computerizată relevă o tumoră chistică parietală dreaptă care histopatologic a fost astrocitom.



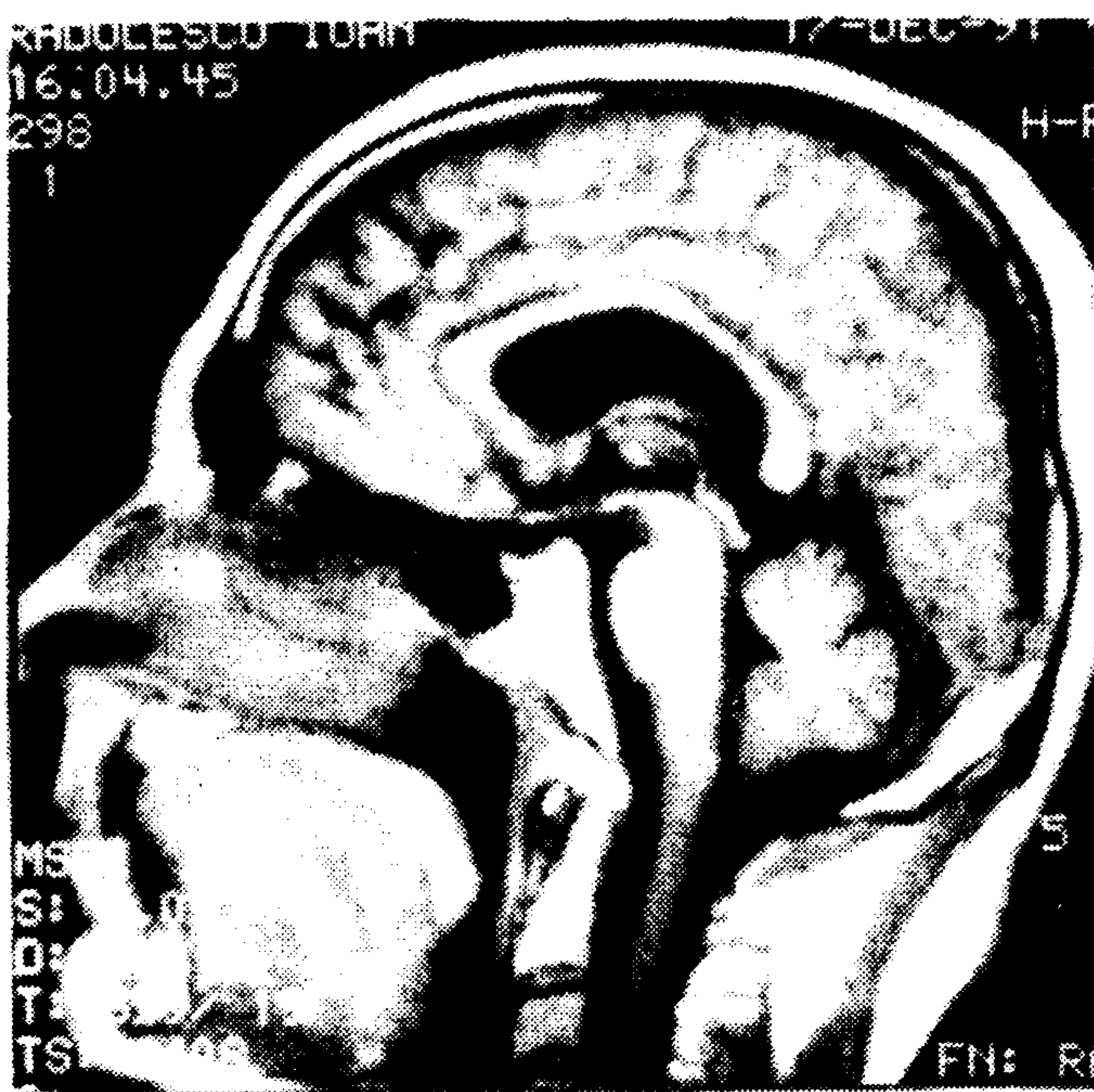
**Fig. 117.** Tomografia computerizată pune în evidență o tumoră parieto-occipitală stângă. Examenul histopatologic a relevat un glioblastom.



**Fig. 118.** Tomografia computerizată pune în evidență o tumoră chistică cerebeloasă dreaptă. Histopatologic a fost un astrocitom.



**Fig. 119.** Imagistica prin rezonanță magnetică, secțiune sagitală de aspect normal.



Dezvoltarea aparatului de rezonanță magnetică capabil a ne da imaginea corpului uman s-a făcut lent cu ajutorul unor cercetători care au adus contribuții importante în acest domeniu. În 1933, Stern a descoperit că raza moleculelor de hidrogen se separă în componente care urmează diferite traiectorii când trece printr-un câmp magnetic neomogen. Aceste traiectorii permit calcularea momentului magnetic al protonului.

În anul 1946, Bloch și Purcell au descoperit că anumiți nuclei rezonă și emit semnale de radiofrecvență atunci când sunt într-un câmp magnetic și pulsează cu undele radio cu frecvență corectă. S-a arătat apoi, că amplitudinea și frecvența distribuirii ne dă informații cu privire la compoziția chimică a eșantionului. Aceste observații au stat la baza spectroscopiei rezonanței magnetice. Pentru aceasta în anul 1952, Bloch și Purcell au obținut premiul Nobel.

Investigând dinamica celulară, Damadian (1971) a constatat că relaxarea constantelor apei (a hidrogenului) este mai lungă în țesuturile tumorale decât în cele normale. După constatarea acestui fapt, a încercat să utilizeze rezonanța magnetică nucleară (RMN) pentru identificarea afecțiunilor maligne în țesuturile excizate din sala de operație.

În acest timp, Lauterbur (1973) a investigat calea posibilă de obținere a imaginilor cu ajutorul rezonanței magnetice nucleare. Primul său succes a constat în reconstruirea unei imagini din semnalele RMN extrase din patru proiecții prin două tuburi capilare umplute cu apă. Ulterior, Hutchinson și grupul său au obținut prima imagine a unui specimen biologic (un șoarece).

În același timp Damadian a construit un aparat numit „field focusing NMR” sau „Fonar”.

Astfel, în 1976 și 1977 el a putut obține imaginea unui șobolan viu carea avea o tumoră implantată și apoi imaginea unui torace de om.

Din nefericire timpul necesar pentru obținerea acelor imagini era foarte mare.

Mansfield (1976) a fost primul care a creat o imagine practică prin rezolvarea procedurii lent de achiziție a datelor. În anul 1977 Hinshaw și colaboratorii săi au obținut imagini ale mâinii și antebrațului.

În următorii ani s-au făcut progrese extraordinare în ceea ce privește calitatea și timpul de obținere a imaginilor. Prin tehnica ultrarapidă de scanare se poate obține o imagine în câteva secunde. De asemenea, rezonanța magnetică permite măsurarea absolută a timpului de relaxare  $T_1$  și  $T_2$  precum și aspectele care reflectă imaginile  $T_1$ -ponderate, imaginile densității protonice și imaginile  $T_2$ -ponderate.

Prin urmare, rezonanța magnetică se bazează pe investigarea nucleului atomic de hidrogen (proton) găsit din abundență în moleculele de apă ale organismului, în prezența unui puternic câmp magnetic. Principiul fizic de funcționare permite utilizarea și a altor protoni, cum ar fi cei de litiu și fosfor.

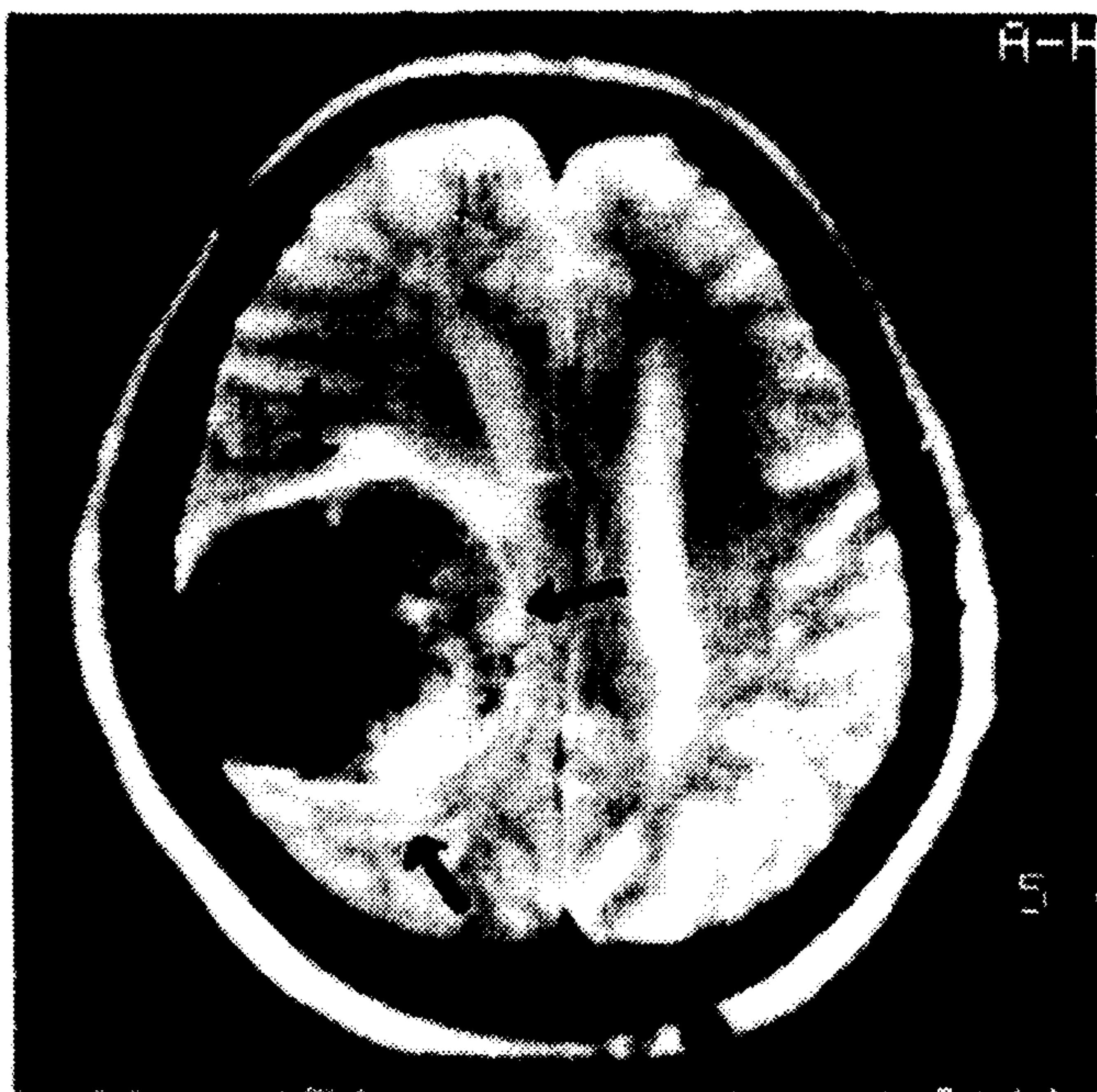
Rezonanța magnetică nucleară a trecut din laborator în clinică după ce Lauterbur a demonstrat posibilitatea obținerii imaginilor prin detectarea protonilor. Deoarece termenul de nuclear face ca procedeul să reprezinte ceva periculos pentru pacienți, s-a hotărât înlocuirea acestuia cu cel de imagistică prin rezonanță magnetică (IMR) (Raichle, 1997). Tehnic, în momentul introducerii capului pacientului în câmpul unui mare magnet supraconductor cilindric, toți protonii atomilor, își aliniază axele cu cea a electromagnetului realizând o fază numită „stare de echilibru”. Emiterea în acel moment a unei unde de radiofrecvență, precisă pentru fiecare element atomic, numit frecvență de rezonanță (42mhz pe Tesla de câmp magnetic în cazul hidrogenului), face ca media aliniamentelor axelor tuturor protonilor de hidrogen să basculeze în unghi drept și să atingă o coerență de fază cu înmagazinare de energie numită „stare de excitație”. După întreruperea semnalului radio, axa globală a tuturor protonilor de hidrogen redevine paralelă cu axa mare a electromagnetului. Este faza numită „de relaxare”, care se însoțește de eliberarea energiei stocate. Toate aceste semnale pot fi codificate, cuantificate și pot fi percepute de antenna legată de detectori. Ele produc atunci, pe ecranul catodic, puncte submilimetrice mai mult sau mai puțin negre, cenușii sau albe, care desemnează imaginea anatomică detaliată a creierului. Luminozitatea imaginii este dată de densitatea nucleilor mobili de hidrogen modificați de mediul înconjurător local, fizic sau chimic. Rezoluția și detaliile întregului oferite de IRM rivalizează cu secțiunile cerebrale efectuate de un anatomopatolog la autopsie (Fig. 120, 121, 122).

Traseele IRM au în general o grosime de 7mm și au avantajul de a fi disponibile în toate planurile, toate axele, chiar în trei dimensiuni, ameliorând vizualizarea unor structuri dorite (Bard și Vezina, 1996). Aceste imagini sunt obținute cu diferite moduri și diferite secvențe de înregistrare. Cele mai frecvente se numesc  $T_1$  și  $T_2$  ponderate. Aceste secvențe diferite permit o caracterizare mai precisă a țesuturilor sănătoase și anormale și o bună diferențiere între substanța albă și cea cenușie ceea ce constituie un important avantaj al IRM față de TC (Fig. 123, 124).

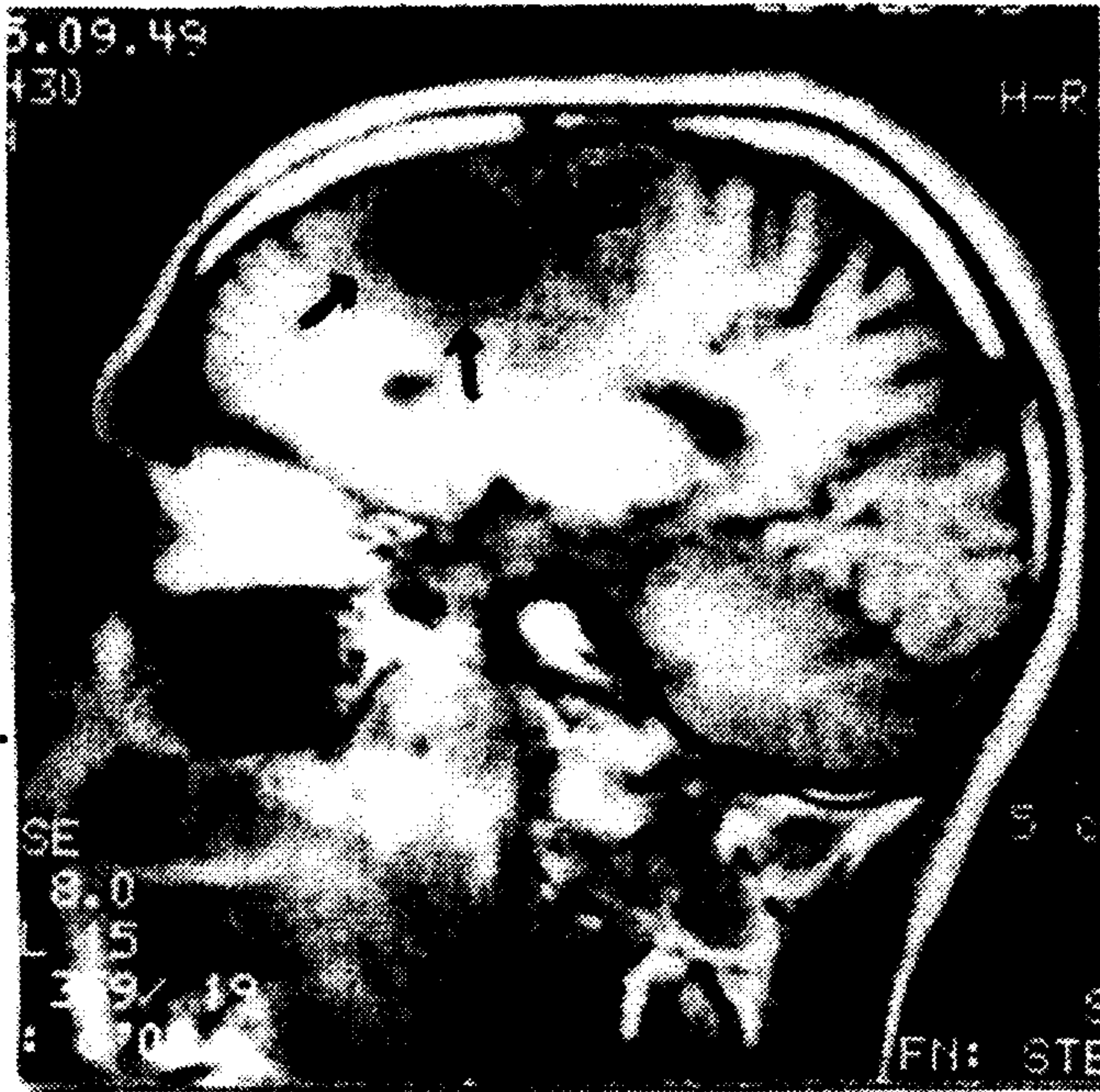
Pentru amplificarea potențialului de diferențiere a țesuturilor prin IRM, se utilizează produsul de contrast, gadoliniul, substanță paramagnetică injectată pe cale intravenoasă. Prin abilitatea acestei tehnici de a detecta semnale legate de modificarea activității neuronale și a fluxului sanguin s-a trecut și la utilizarea IRM funcționale.

În ultimul deceniu, au apărut aplicații noi și foarte promițătoare ale rezonanței magnetice, cum ar fi angiografia, spectroscopia și imagistica funcțională (Bard și Vezina, 1996).

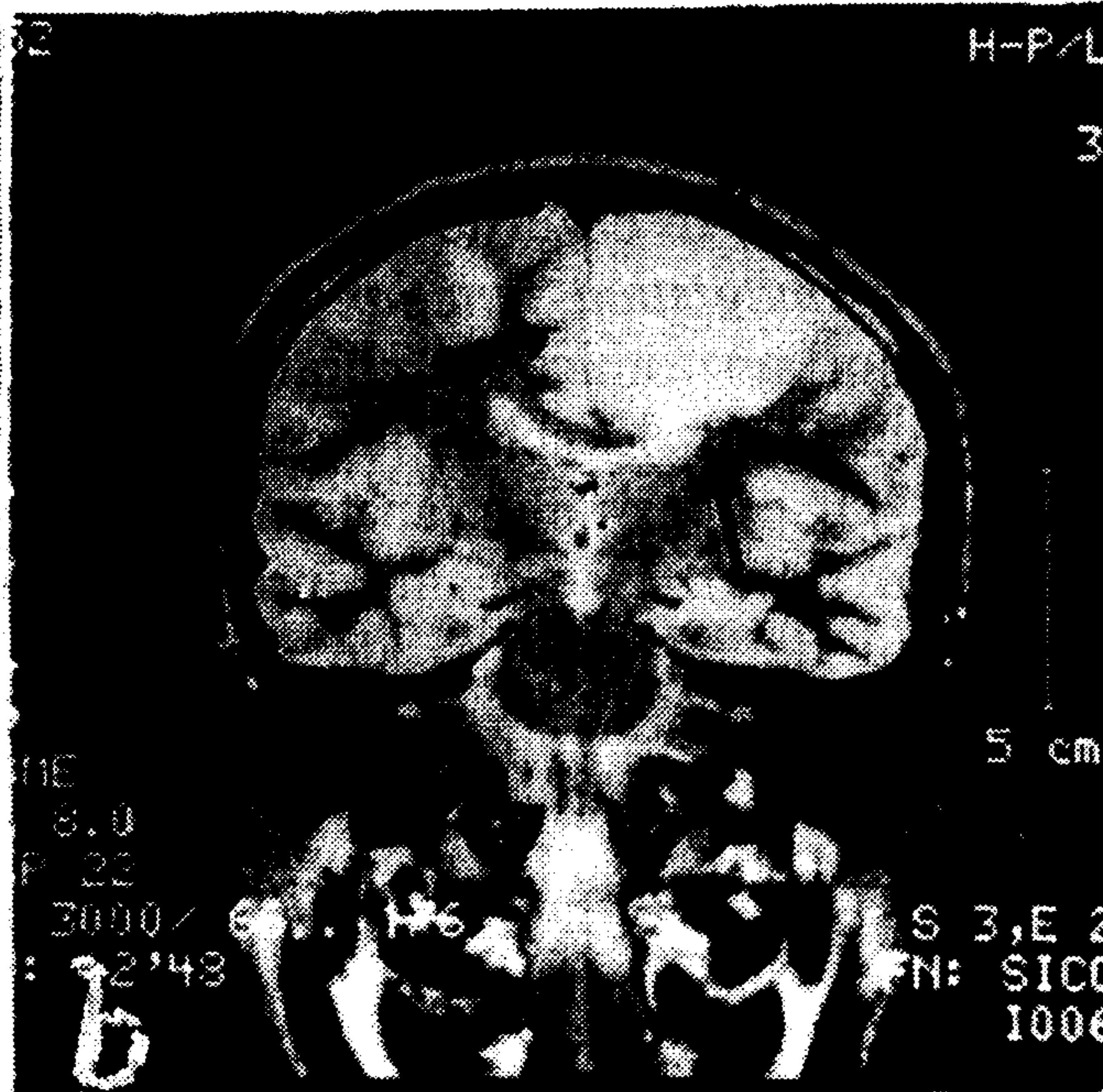
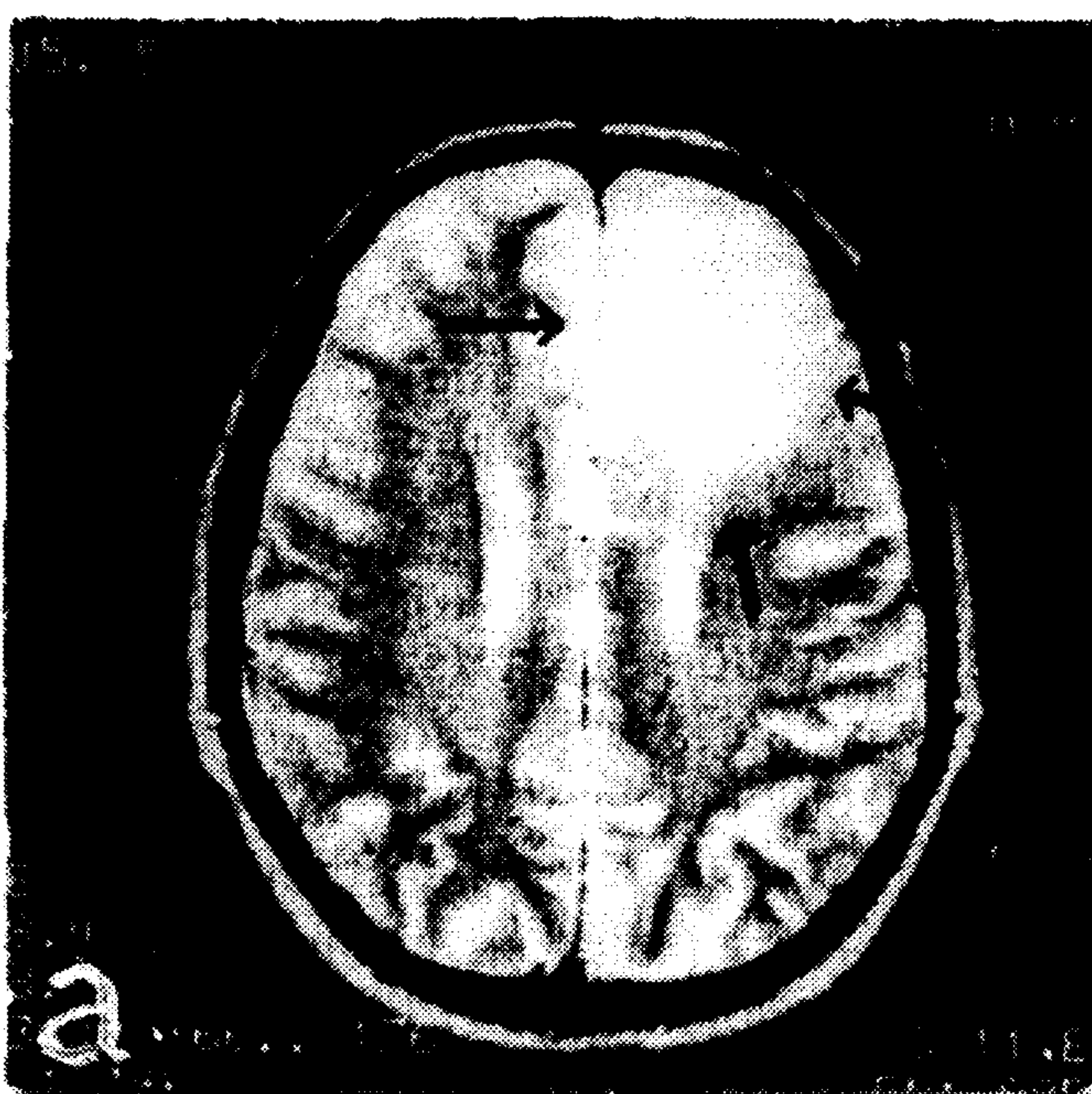




**Fig. 120.** Imagistica prin rezonanță magnetică ponderată  $T_1$ , secțiune axială, relevă un meningiom parietal.



**Fig. 121.** Imagistica prin rezonanță magnetică ponderată  $T_1$ , arată o tumoră cerebrală frontală de tip astrocitom.



**Fig. 122.** Imagieria prin rezonanță magnetică ponderată  $T_2$ , secțiune transversală (a) și axială (b) evidențiază o tumoră frontală stângă de tip astrocitom.





Fig. 123. Imagistica prin rezonanță magnetică ponderată T<sub>2</sub>, secțiune sagitală relevă o tumoră selară și supraselară (adenom hipofizar).

- *Angio-IRM* se face fără injectare intraarterială sau intravenoasă de produs de contrast. Acest nou mod, neinvaziv, de explorare vasculară făcut prin simpla alegere a secvențelor și a saturației protonice, înlocuiește progresiv angiografia clasică.

- *Spectroscopia prin rezonanță magnetică* permite studiul distribuției substanțelor biochimice ce acționează în diverse structuri, analiza chimică *in vivo* a moleculelor alese și astfel analiza compoziției tisulare în afecțiuni organice și funcționale. Această tehnică poate fi utilizată și pentru analiza anomaliilor metabolice la nivelul unui focar epileptic, în demențe, în boala Alzheimer și pentru demonstrarea distribuției și concentrației litiului intracerebral la pacienții cu boli maniac-depresive (Heinz și colab., 1994; Schlaepfer și colab., 1994). Spectroscopia prin RM reprezintă astăzi o unealtă suplimentară pentru cercetarea anomaliilor regionale focale în metabolismul N-acetil L-aspartatului și lactatului (Breiter și colab., 1994) în cazurile de epilepsie rebele.

- *Imagistica funcțională prin rezonanță magnetică* constă în vizualizarea regiunilor anatomice cerebrale unde se concentrează activitățile cognitive sau motorii. Tipul de achiziție permite stabilirea unei hărți a funcționării creierului uman, cu o rezoluție anatomică și temporală neegalată până acum (Bard și Vezina, 1996). Mecanismul prin care regiunea cerebrală studiată, responsabilă de procesul de integrare și de reacția la stimulul exterior, prezintă un semnal în momentul stimulării pare legat de creșterea vascularizației și de modificarea oxigenării sângelui, consecință a nevoilor metabolice crescute în regiunea interesată (Jackson și colab., 1994). Actualmente sunt efectuate studii privind stimulările vizuale, ale memoriei, ale limbajului, ale auzului și în căutarea unui focar epileptogen (Giedd și colab., 1994, Aylward și colab., 1994).

În concluzie, dezvoltarea imagisticii prin RM împreună cu excelența sa rezoluție și cu posibilitățile sale de studiu molecular și funcțional permite punerea unor diagnostice, care în trecut se bazau numai pe date clinice.





**Fig. 124.** Imagistica prin rezonanță magnetică ponderată  $T_2$ , secțiune sagitală, relevă o tumoră pontină și de ventricul patru chistică.

### Tomografia cu pozitroni.

Un grup important de cercetători, intrigat de posibilitățile oferite de TC, s-a axat pe îmbunătățirea autoradiografierii țesuturilor, metodă utilizată de mulți ani în investigarea metabolismului, biochimiei și fluxului sanguin al diverselor organe. Tehnica autoradiografierii țesuturilor se baza pe injectarea intraveoasă a unui compus marcat radioactiv. După acumularea acestuia în organul pe care-l aveau de investigat, animalul se sacrifica, iar organul (de exemplu creierul) era prelevat pentru analiză.

Înregistrarea distribuției compusului radioactiv se făcea prin secționarea organului în felii și prin așezarea acestora pe un film radiosensibil. Imaginile

obținute ofereau cercetătorului posibilitatea de a deduce funcția specifică a fiecărei componente tisulare. Tipul de informație depindea de compusul radioactiv injectat. De exemplu, cu ajutorul glucozei marcată radioactiv se putea măsura metabolismul cerebral, deoarece glucoza reprezintă sursa energetică primară pentru celulele creierului.

După introducerea TC, adepții autoradiografiei tisulare au fost fascinați de această tehnică. Ei și-au dat seama imediat că reconstruirea anatomiei unui organ cu ajutorul TC ar putea fi aplicată și în cazul utilizării radioizotopilor, prin măsurarea radioactivității emise de o anumită secțiune din corp. Astfel a luat naștere autoradiografia umană *in vivo*.

Un element crucial din evoluția autoradiografiei l-a constituit găsirea izotopului adecvat. Cei care au lucrat în acest domeniu au preferat clasa radioizotopilor, care emit pozitroni (electroni încărcăți pozitiv), prin faptul că aceștia se combină imediat la nivelul țesuturilor cu electronul cel mai apropiat.

În procesul de anihilare al electronului cu pozitronul, se emit două raze gamma cu energie înaltă, care se îndreaptă în direcții aproape opuse. Pentru detectarea perechilor de raze gamma, dispozitivul de captare se dispune circular în jurul organului de interes.

Cu ajutorul unui computer se localizează originea radiației gamma cu o precizie remarcabilă. Rolul crucial al pozitronilor în autoradiografia umană a generat denumirea de tomografie cu emisie de pozitroni sau PET (positron emission tomography) (Fig. 125).

Pentru studierea rolului și metabolismului diferitelor procese biochimice *in vivo*, sunt utilizate cu mare succes substanțele radiofarmaceutice emițătoare de pozitroni. Oxigenul 15, nitrogenul 13 și carbonul 11 sunt izotopi de bază ai oricărei substanțe vii, astfel încât incorporarea lor în diferiți compuși și biomolecule, care urmează a fi administrate, nu alterează cu nimic metabolismul organismului normal.

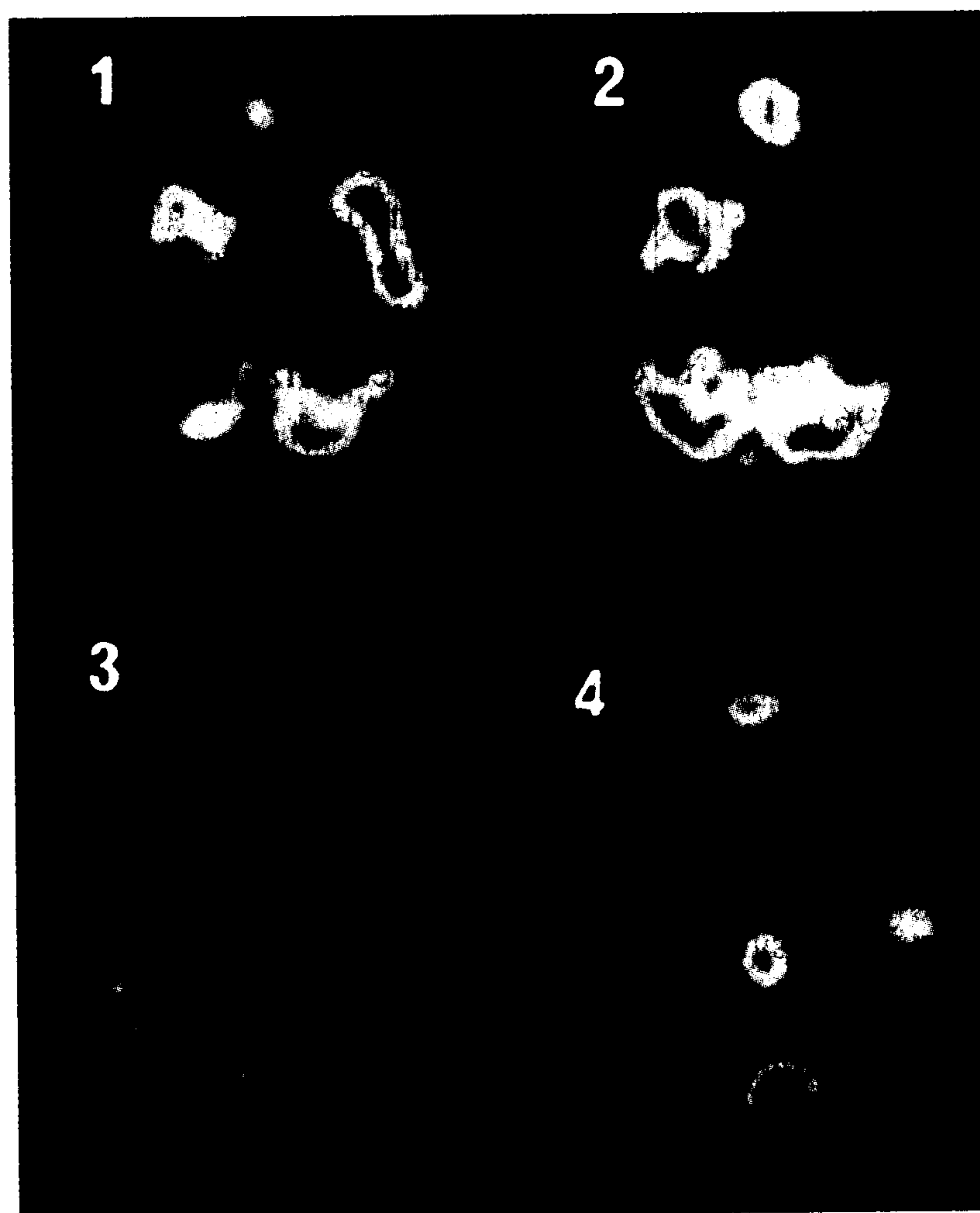
Injectarea glucozei marcate radioactiv în momentul efectuării tomografiei duce la concentrarea acestui produs în regiunile cu activitatea metabolică înaltă, iar particulele radioactive emise sunt înregistrate ca zone mai luminoase.

PET este utilizată pentru relevarea regiunilor cerebrale implicate în vorbire și în alte funcții cognitive, precum și pentru măsurarea debitului sanguin cerebral.

În cursul anilor '70 echipele scandinave au fost primele care au indicat posibilitatea utilizării metodelor clasice de măsurare a debitului sanguin cerebral (DSC) în vederea vizualizării modificărilor locale ale activității cerebrale din cadrul testelor cognitive. Totuși, numai după dezvoltarea tomografului cu emisie de pozitroni (PET) am asistat la o adevărată explozie a investigațiilor de acest tip în cadrul neuropsihologiei (Haxby și colab., 1991).

Prin DSC se înțelege perfuzia de la nivelul țesuturilor, care aduce în mod continuu creierului substraturile (glucoza și oxigenul) necesare asigurării integrității celulare și menținerii gradientilor ionici, ceea ce permite tratarea informațiilor la nivel neuronal. La creierul în stare de repaus, DSC este reglat de către necesitățile metabolice de  $O_2$  și glucoză; cu alte cuvinte, există o legătură proporțională variabilă de la o regiune la alta, între parametrii DSC, utilizarea cerebrală a





**Fig. 125.** Studiul PET la un pacient cu infarct cerebral făcut la 10 zile de la debut. Pe aceste imagini se poate vedea, în aria infarctului, un flux sanguin crescut (perfuzia de lux), dar lipsa metabolismului și a extracției oxigenului (imaginea 2 și 3) demonstrează că țesutul cerebral este mort. Imaginea 1 arată fluxul sanguin cerebral; imaginea 2 relevă consumul de oxigen; imaginea 3 pune în evidență extracția oxigenului; și imaginea 4 arată volumul sanguin.

glucozei (CMRglc) și consumul metabolic de oxigen (CMRO<sub>2</sub>); acești trei parametri reflectă global activitatea sinaptică integrată local (Baron și colab., 1984; Baron, 1996). Dacă reducerea activității sinaptice, în special ca răspuns la o leziune cerebrală, respectă această regulă, creșterea activității sinaptice, dimpotrivă, se manifestă în cazul unui test neurosenzorial printr-o creștere proporțională a CMRglc și DSC-ului și mult mai puțin a CMRO<sub>2</sub>, ceea ce reflectă probabil o glicoliză anaerobică (Fox și colab., 1988).

Metodele de măsurare a DSC prin PET fac apel la apa marcată cu oxigen 15 (H<sub>2</sub>O-<sup>15</sup>O). Traserul este administrat fie sub forma precursorului biologic CO<sub>2</sub>-<sup>15</sup>O prin inhalare, fie direct pe cale intravenoasă.

Pot fi utilizate modele diferite în vederea cuantificării DSC-ului (dinamic, cu echilibru sau autoradiografic in vivo) (Baron, 1996).

Dozarea CMRO<sub>2</sub>, folosită pentru măsurarea DSC, utilizează oxigenul molecular O<sub>2</sub> marcat cu oxigen 15, administrat prin inhalare. Și în acest caz pot fi

folosite mai multe modele cantitative (dinamic, cu echilibru staționar sau autoradiografic) (Baron, 1996).

Măsurarea CMRglc-ului utilizează glucoza D marcată cu  $^{11}\text{C}$  în poziția 1, fie, mult mai răspândit  $^{18}\text{F}$ -2-fluoro-2-dezoxiglucosa-D (analoagă cu glucoza D) ca urmare a unei transpuneri la om a modelului autoradiografic cu  $^{14}\text{C}$ -2-dezoxiglucosa-D (2-DG) a lui Sokoloff, model care prezintă dezavantajul că necesită o măsură tip de 45 de minute, timp în care starea neurofiziologică trebuie să rămână staționară (Baron, 1996).

În practică, măsurarea DSC cu ajutorul  $\text{CO}_2$ - $^{15}\text{O}$  sau a  $\text{H}_2\text{O}$ - $^{15}\text{O}$  trebuie făcută de 6 până la 15 ori în cadrul aceleiași ședințe, în mod succesiv și la interval de 10-15 minute, dacă ținem cont și de perioada fizică a oxigenului  $^{15}\text{O}$ , care este de două minute.

Una dintre cele mai deosebite contribuții ale PET în neuropsihologie a fost relevarea faptului că o leziune cerebrală focală ar putea antrena un hipometabolism (cu hipoperfuzie de aceeași mărime) la nivelul structurilor cerebrale morfologic intacte (Baron și colab., 1984; Feeney și Baron, 1986; Baron, 1996).

Acest fenomen s-ar datora efectelor de deconectare determinate de leziune.

Totuși, în astfel de situații se află destul de probabil perturbări celulare foarte diferite în funcție de tipul de efect la distanță (antero-sau retrograd, presinaptic, transsinaptic sau transneuron) precum și de timpul trecut din momentul apariției leziunii (adică efecte funcționale față de degenerescența propriu-zisă) (Baron, 1991).

Prin urmare, numai imaginile funcționale permit să se facă vizualizarea întinderii reale a perturbărilor amintite mai sus. Faptele cele mai deosebite se referă la leziunile subcorticale, care induc adeseori un hipometabolism cortical homolateral. Acesta indică atingerea rețelelor legate de cortex și înțelegerea mai corectă a tulburărilor de vorbire, a memoriei sau a atenției. Astfel, după o leziune talamică, hipometabolismul neocortical demonstrează atingerea căilor talamo-corticale, cu efect transsinaptic la nivelul neocortexului (Baron, 1996). Aceste fenomene permit abordarea în termenii rețelelor neuronale a tuturor deficiențelor cognitive, precum și a celorla din cadrul recuperărilor funcționale. Rezoluția temporală a metodei PET (de unul sau două minute) este de proastă calitate dacă o comparăm cu viteza operațiilor cognitive. Totuși, având în vedere faptul că fiecare sarcină este constituită dintr-o repetare a stimulărilor și că astfel are loc o integrarea în imaginea finală a totalității evenimentelor, care au avut loc în timpul înregistrării, se poate controla, mai mult sau mai puțin, dimensiunea temporală (Baron, 1996). Neuropsihologia clasică ne informează, în realitate, asupra zonelor cerebrale (centrii) necesare realizării unui scop, în timp ce metoda activărilor permite să se stabilească harta zonelor multiple implicate în acest scop. De exemplu, activarea regiunii Wernicke stângi în cursul testelor de comprehensiune auditivă este un fapt recunoscut de toți (Petersen și colab., 1988; Zatorre și colab., 1992; Demonet și colab., 1992; Mazoyer și colab., 1993; Demonet și colab., 1994). Apoi, posibilitatea de compensații lezionale prin reorganizarea circuitelor ar putea să explice și unele divergențe.



## Studii radioizotopice cerebrale

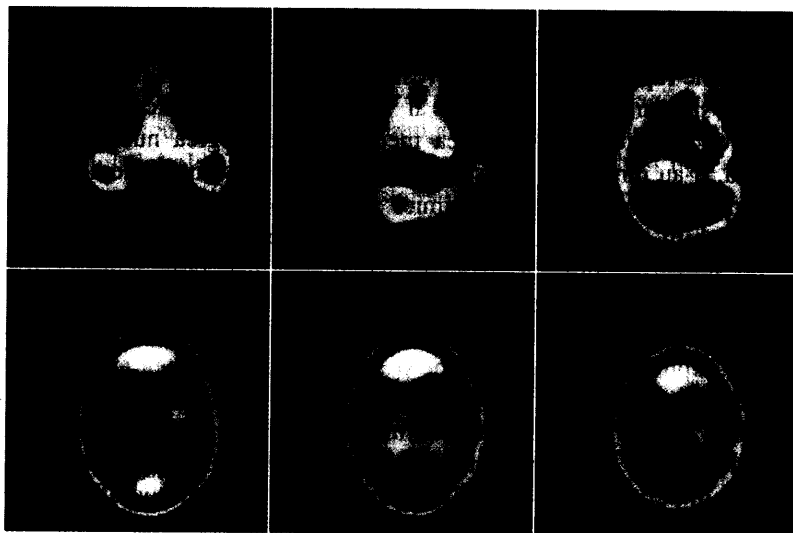
Progresele rapide survenite în investigarea neurologică prin aportul important al scanerelor și mai recent prin cel al rezoanței magnetice nucleare sau al tomografiilor cu pozitroni, au făcut ca medicina neurologică nucleară să rămână puțin în urmă. S-au înregistrat totuși evoluții spectaculoase în domeniul tehnologiei (aparaturii) și în domeniul radiochimiei și radiofarmacologiei. Tehnologia a înregistrat evoluții spectaculoase și a permis realizarea de sisteme cu capete multiple, cu senzori multipli sau de tip inelar. La începutul anilor '60, studiile efectuate cu ajutorul cartografelor cu baleiaj au făcut posibilă vizualizarea distribuției substanțelor radioactive în interiorul creierului. În anii '70 camerele de scintilație au îmbunătățit citirea datelor și au oferit posibilitatea analizei dinamice a fluxului cerebral (Léveillé, 1996). Totuși, aceste examene permit vizualizarea numai a unui singur plan, la un anumit moment, fapt pentru care metodele respective de studiu au fost numite „planare”. Metodica de abordare a fost revoluționată, în perioada anilor '80, de apariția sistemelor tomografice care permit studierea funcțională a structurilor cerebrale pe felii. Astfel, tomoscintigrafia (SPECT-single photon emission computed tomography) permite analiza calitativă și cantitativă a relațiilor funcționale ale structurilor cerebrale prin compararea activităților radioizotopice studiate atât la nivelul zonelor cerebrale profunde, cât și al celor superficiale sau la nivelul regiunilor subtentoriale în comparație cu cele supratentoriale (Masdeu și colab., 1994).

În domeniul radiochimiei și radiofarmacologiei trebuie semnalată utilizarea în decursul ultimilor 10 ani a unor noi substanțe caracterizate prin gradul ridicat de liposolubilitate, ceea ce facilitează trecerea lor dincolo de bariera hematoencefalică normală. Așa au apărut studii efectuate cu xenon<sup>133</sup> (Xe<sup>133</sup>), cu iodo-amfetamină I<sup>123</sup> (IMP<sup>123</sup>), cu xeametil propilen amino-oxim Tc<sup>99m</sup> (HMPAO Tc<sup>99m</sup>), iar recent cu dimer etil cisternat Tc<sup>99m</sup> (ECD Tc<sup>99m</sup>) sau bicisat de Tc<sup>99m</sup> (Léveillé, 1996).

Iodoamfetamina (IMP) prezintă nivelul de extracție cel mai ridicat încă de la prima trecere și are o legătură aproape liniară între perfuzia sanguină locală și viteza ei de fixare inițială. Această caracteristică oferă un contrast mai mare și o distincție mai mare între zonele cerebrale normale și cele patologice. ECD sau bicisatul de Tc<sup>99m</sup>, fiind mult mai stabil, permite distingerea mai clară a structurilor cerebrale, datorită faptului că prezintă o puritate radiochimică mai mare (Léveillé, 1996).

Substanțele radioactive, utilizate la început pentru investigarea cerebrală au servit și la verificarea integrității barierei hematoencefalice, care nu permite trecerea substanțelor hidrosolubile, dacă aceasta nu este lezată. Astfel, substanțele hidrosolubile cum ar fi pertehnetatul, DTPA (Fig. 126) și mai ales glucoheptonatul marcate cu ajutorul tehniciului <sup>99m</sup> se regăsesc reținute la nivelul leziunilor tumorale, al malformațiilor arteriovenoase sau ale accidentelor cerebrovasculare (Tănăsescu și colab., 1977; Léveillé și colab., 1977).

Agenții sunt distribuiți la nivelul structurilor cerebrale în funcție de caracteristicile lor fizice și farmacologice și de fluxul și metabolismul cerebral



**Fig. 126.** SPECT cerebral.

După injectarea intravenoasă a 18 mCi  $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA s-a făcut scanarea în poziție supin folosindu-se colimatorul HR.

Pe secțiunile sagitală și coronală se evidențiază o zonă cu captare crescută proiectată pe aria glandei pineale.

regional. Agenții radioizotopici folosiți trebuie să îndeplinească următoarele criterii: a) nivelul lor de extragere să fie ridicat și relativ proporțional cu fluxul cerebral regional; b) reținerea să fie suficient de stabilă și prelungită pentru a permite localizarea lor cu precizie prin tomoscintigrafie; c) retrodifuzia sau revenirea de la structurile cerebrale spre compartimentul vascular să fie slabă și lentă.

Substanțele radioactive pot fi administrate sub formă de gaz (xenon<sup>133</sup>), fiind inhalate cu ajutorul unei măști modificate. Acest gaz inert servește la măsurarea cantitativă a debitului cerebral regional (ml/100g/min) și în urma eliminării lui rapide, studiile pot fi reluate de mai multe ori în timpul aceleiași zile. Ceilalți factori sunt injectați intravenos. Ei oferă posibilitatea culegerii datelor în mod dinamic prin măsurarea debitului cerebral la nivel regional, a comportamentului metabolic al celulelor neuronale și a activităților sinaptice în repaus sau ca urmare a testelor de stimulare sau de inhibiție.

Cu ajutorul evaluărilor radioizotopice putem studia accidentele cerebro-vasculare, ischemiile, crizele de epilepsie, afecțiunile psihiatrice și tulburările cognitive, sindromul de oboseală cronică, traumatismele cerebrale, dinamica LCR, receptorii, neurotransmițătorii etc.

Studiile efectuate cu pozitroni au demonstrat că o leziune cerebrală poate atrage după sine modificări ale activităților cerebrale în regiuni situate în altă parte, care erau din punct de vedere anatomic intacte. Acestea sunt încadrate în



noțiunea de diaschizis. Exemplul cel mai cunoscut este acela al unei diaschize cerebeloase contralaterale secundară unei leziuni corticale supratentoriale. Importanța și durata acestui fenomen asociat cu o dezaferentare a circuitelor neurofuncționale, atrage după sine un hipometabolism secundar, care ar putea avea o valoare de prognostic și ar putea preciza evoluția leziunii primare în unele cazuri (Hiroshi și colab., 1994; Sugawara și colab., 1994). Identificarea altor fenomene la distanță legate de întreruperi de circuite între două structuri cerebrale permite imagisticii de tip funcțional (PET, SPECT etc) de a măsura repercurșiunile, la distanță de leziunea de focar și de a identifica circuitele de legătură (Léveillé, 1996).

Redăm în continuare câteva forme clare de diaschizis: cortico-talamic; talamo-cortical; cortico-cerebelos sau transtentorial; cerebelo-cortical încrucișat; ganglioni bazali (lezarea unilaterală a nucleului lenticular) - cortex cerebral; ganglionii bazali (lezarea bilaterală a nucleilor lenticulari) - cortex cerebral.

Tomoscintigrafia este cel mai bun indicator al deficitului perfuzional datorat accidentelor vasculare cerebrale, fiind capabilă să localizeze peste 90% din leziuni, în timp ce prin scanare se localizează cam 20% din accidente în timpul primelor opt ore de la debutul simptomelor.

Reprezentate fie prin zone de hipoactivitate localizate sau difuze, fie prin regiuni de hiperactivitate, care se datorează reacțiilor hipervolumice sau perfuziilor de lux, ele se dovedesc a fi mult mai ample ca volum prin tomografie decât prin scanare. În cazul unui deficit vascular cerebral vasele situate în aval încearcă să se dilate pentru a putea permite un nivel corespunzător de perfuzie cerebrală, făcând uz de rezerva perfuzională în scop compensator (Léveillé, 1996). În cazul leziunilor centrale necrozante există întotdeauna reacții neobișnuite, numite „de penumbră”, în cadrul cărora se manifestă diferite nivele de ischemie mai mult sau mai puțin reversibile și care sunt înconjurate de un țesut cerebral normal (Di Rocco și colab., 1993; Hossmann, 1994; Gunilla și colab., 1994). Această zonă de penumbră care rămâne viabilă pentru o perioadă de timp scurtă din faza acută, ar putea fi salvată în cazul aplicării unor tratamente corespunzătoare. Ameliorarea fluxului sanguin cu medicamente vasoactive, hemodiluție sau bypass vascular cerebral s-au dovedit până acum mai puțin eficiente (Hossmann, 1982, Lindley și Warlow, 1992). În schimb, medicamentele non-vasoactive, cum ar fi antagoniștii glutamatului pot reduce dramatic volumul și întinderea infarctului ischemic dacă sunt administrate adecvat și la puțin timp după apariția simptomelor clinice.

### III. METODE PSIHOLOGICE

Înțelegerea și rezolvarea obiectiv științifică a problemei raportului psihic-creier reclamă cercetarea ambilor termeni, iar nu doar a unuia dintre ei. Prin urmare, investigarea și cunoașterea psihicului ca atare, atât în planul organizării sale

generale, cât și în cel al proceselor concrete care-l compun sunt pentru psihoneurologie la fel de necesare ca și investigarea și cunoașterea funcției creierului.

Iată de ce în arsenalul instrumental al cunoașterii creierului trebuie incluse și metodele psihologice.

Pe lângă informația despre conținutul și legitățile interne ale organizării și manifestării proceselor psihice, metodele psihologice ne furnizează indirect informații și despre creier și anume: despre starea lui funcțională generală, despre gradul de dezvoltare și maturizare anatomofiziologică, despre gradul de diferențiere și specializare, despre plasticitatea și capacitatea compensatorie, despre localizarea eventualelor focare patologice etc.

Spre deosebire de creier, care ca organ anatomic poate beneficia și de o investigare directă, psihicul ca entitate informațională interiorizată este inaccesibil cercetării directe, el nedispunând de proprietăți sensibile, care să poată fi observate sau înregistrate ca atare. Totuși, cunoașterea lui nu este lipsită de atributul obiectivității.

Genetic, la baza formării conținuturilor și structurilor psihice este pusă acțiunea directă în plan extern a individului cu obiectele și fenomenele din jur. Astfel, forma primordială de manifestare a psihicului este acțiunea materializată externă, iar componentele acesteia interiorizate și codificate prin intermediul structurilor neuronale devin ceea ce denumim îndeobște procese psihice.

Pe măsură ce se elaborează și se consolidează, aceste procese nu rămân niște entități izolate, ci se deschid și se închid sub formă de scheme de desfășurare a actelor comportamentale externe, în calitate de factor principal de reglare. Prin această exteriorizare ele devin accesibile cunoașterii obiective, dar nu pe cale nemijlocită, ci mijlocită. Așadar, accesul la organizarea psihică internă este mediat de acțiunile și comportamentele externe.

Metodele psihologice obiective pot fi, deci, centrate pe relevarea, înregistrarea și analiza cât mai veridică și mai fină a structurii și dinamicii actelor comportamentale. Dar realizarea celei mai simple reacții sau mișcări voluntare, în rezolvarea unei anumite sarcini, poate avea la bază interacțiunea unui mare număr de componente psihice.

Aceasta impune o analiză de tip factorial pentru a extrage din fiecare act comportamental doar acele elemente care reflectă cu adevărat procesul psihic considerat. Totodată nu trebuie să pierdem din vedere nici fenomenul mascării și al dedublării, la care subiectul uman poate recurge în anumite condiții și situații. De asemenea, în cursul desfășurării examenului psihologic subiectul manifestă tendința fie de a se ermetiza, de a nu se dezvălui, fie de a se arăta altfel decât este el în realitate. De aceea, pe lângă utilizarea unor procedee empatetic-persuasive, pentru slăbirea cât mai mult cu putință a acestor baraje, în interpretarea rezultatelor trebuie să dovedim discernământ, pentru a da la o parte ceea ce este alterat, contrafăcut și a reține ceea ce este relevant și concordant.

Obiectivizarea investigației psihologice trebuie înțeleasă sub un dublu aspect: 1) cel al concordanței cu realitatea comportamentală investigată nemijlocit și 2) cel



al concordanței valide a indicatorilor comportamentali cu realitatea psihică, care constituie obiectul principal al analizei.

Astfel complexitatea extraordinară a sistemului psihic uman a făcut necesară elaborarea unei game întinse de metode și procedee de cercetare.

Din perspectiva obiectivelor pe care și le propune psihoneurologia, esențiale ni se par a fi următoarele: a) metoda analizei produselor activității, b) metoda testelor, c) metoda experimentului de laborator; d) metoda genetică și comparată; e) metoda logico-matematică formală și cibernetică.

### **Metoda analizei produselor activității**

Analiza produselor activității se bazează pe principiul unității dialectice dintre structurile psihice interne și acțiunile de realizare a diferitelor tipuri de produse. Se folosește pentru cunoașterea motivațiilor, intereselor și disponibilităților creatoare ale personalității.

Obiect al analizei psihologice îl pot constitui atât produsele realizate în cadrul activității libere, cât și cele realizate în contextul unor sarcini date de experimentator.

În acest scop, se recurge la sarcini de desen, compunere, construcție de obiecte etc. Pentru fiecare gen de sarcini se stabilesc anumite criterii de ordin cantitativ și calitativ de analiză și interpretare (completitudine, mod de organizare a elementelor, semnificații conferite, expresivitate, acuratețe etc).

În clinică, metoda respectivă se folosește în două scopuri: pentru a evalua nivelul premorbid al personalității și a stabili, prin comparație, deficitul general provocat de focarul patologic, și pentru determinarea diagnosticului diferențial și a dinamicii evoluției tulburărilor psihice de diferite etiologii.

### **Metoda testelor**

Metoda testelor a fost introdusă inițial în psihoneurologie din necesități de ordin practic; determinarea nivelului dezvoltării mintale generale, în scopul decelării cazurilor de anormalitate și realizarea mai eficientă a orientării și selecției profesionale.

În ambele situații se impune elaborarea unor probe diferențiate și orânduite (ierarhizate) după anumite criterii (conținut, mod de prezentare, grad de dificultate, volum, timp de rezolvare etc) care să fie etalonate, standardizate și validate pe eșantioane reprezentative extrase din populația de bază.

Astfel, metoda testelor, deși își are punctul de plecare și premisele în metoda experimentului de laborator, se va detașa de aceasta, devenind oarecum independentă. Astăzi, când vorbim de efectuarea unui experiment de laborator și de aplicarea unui test, ne gândim la lucruri semnificativ diferite. Prima și cea mai importantă deosebire constă în caracterul probelor (sarcinilor) pe care le implică:

experimentul se bazează pe sarcini circumstanțiale, special elaborate în concordanță cu scopul cercetării; testul vehiculează probe-standard, dinainte elaborate și validate, care se aplică la fel, în concordanță cu instrucțiunile și prescripțiile date, tuturor subiecților, cercetătorul neavând libertatea de a interveni și a modifica condițiile impuse. În al doilea rând, experimentul este orientat, cu precădere, spre dezvăluirea dependențelor legale, cauzale, pe de o parte, între variabila externă (stimul) și fenomenul psihic provocat, și, pe de altă parte, în interiorul procesului psihic studiat însuși; testul este orientat eminamente constatativ, scopul lui principal constând în clasificarea subiectului investigat prin raportare la etalonul eșantionului populației căreia-i aparține. Folosit ca atare, testul ne oferă posibilitatea comparării exterioare a subiecților, în funcție de performanțele obținute, a stabilirii distanței la care se situează procesul sau capacitatea psihică măsurată de o medie statistică, reprezentând normalul.

Aceste aspecte nu sunt, desigur, de neglijat nici din punct de vedere teoretic, științific. De aceea, testul trebuie recunoscut nu numai ca instrument diagnostic, ci și ca procedeu de cercetare. Utilizarea acestui procedeu ne permite să studiem deosebirile individuale în limitele aceleiași vârste cronologice și între diferitele perioade de vârstă; totodată, datorită caracterului său standardizat, testul asigură determinarea mai riguroasă a interacțiunii și ponderii factorilor externi și a condițiilor interne în constituirea funcțiilor și capacităților psihice.

Având un coeficient ridicat de corelație (peste 0,70) cu performanțele într-o activitate „naturală” specifică, testele dobândesc și o valoare de predicție (prognostică), permițându-ne să aproximăm modul de comportare (de reușită) al subiectului testat în situații similare. Cu alte cuvinte, ele ne relevă nu numai starea actuală a unui proces sau a unei capacități, ci și tendințele lor viitoare. Compararea individului cu un grup este întotdeauna mai relevantă decât compararea cu el însuși, întrucât permite o mai bună delimitare a ceea ce este invariant și legitim de ceea ce este accidental și neesențial.

De aceea, în elaborarea a ceea ce se numește profil de stare general al sistemului psihic uman, absolut obligatoriu pentru analiza sistematică a raportului psihic-creier, testele sunt de neînlocuit. Ele trebuie aplicate, firește, nu numai în evaluarea structurilor psihice în stare normală, ci și în patologie. Chiar dacă nu întotdeauna ne permit să stabilim diagnosticul diferențial precis, ele ne dau o imagine foarte exactă despre deficitul global al unei funcții sau structuri psihice, despre mărimea abaterii de la media normală. Bineînțeles, testul nu trebuie absolutizat, transformat în metodă perfectă și infailibilă de cunoaștere psihologică; aceasta duce, așa cum ne arată istoria psihologiei, la serioase erori atât în plan teoretic, cât și în plan practic. Dar nu mai puțin păgubitoare ar fi tendința opusă, de negare a oricăror valențe diagnostice și prognostice ale testelor.

Singura comparabilă cu spiritul științific este atitudinea lucidă, realist-critică, de natură să asigure atât o folosire adecvată, rațională a testelor existente, cât și perfecționarea lor continuă. Trebuie să observăm că tocmai o asemenea atitudine s-a impus astăzi ca dominantă. La impunerea ei au contribuit următorii factori: 1) conștientizarea și recunoașterea caracterului relativ și limitat al oricărui test particular; 2) analiza erorilor comise atât în elaborarea, cât și în aplicarea testelor; 3) triumful în psihologie al concepției evoluționist-genetice asupra



concepțiilor nativist-imanentiste; 4) controlul; 5) introducerea criteriilor și principiilor cibernetice în metodologia generală de elaboreare a testelor; 6) perfecționarea modalităților de prelucrare și interpretare a rezultatelor obținute la test.

La ora actuală, psihologia dispune de un număr foarte mare de teste, peste 10 000, ceea ce creează dificultăți de alegere și stăpânire. Pentru o mai bună orientare, este necesar să introducem anumite criterii de ordonare și clasificare, ca: 1) caracterul și gradul etalonării; 2) forma de codificare (prezentare) a sarcinii; 3) ceea ce se propune să măsoare; 4) gradul de cuprindere. Potrivit primului criteriu, delimităm teste riguros etalonate (de exemplu, scările de inteligență generală Binet-Simon, Terman, Wechsler-Belvue, Raven, Alexander etc.) și teste vag etalonate (de exemplu, diferitele probe proiective - TAT, Rorschach, Luscher, Rosenzweig, Zondi etc., diferite tipuri de chestionare - Guilford-Zimmerman, 16-PF (Cattell), Eysenck. Minnesota (MMPI) etc.; potrivit celui de-al doilea criteriu, testele se grupează în teste verbale, în care sarcina de rezolvat este prezentată într-o formulare verbală (de exemplu probele de verificare a gradului de dezvoltare a vocabularului și abilității verbale, scara verbală din testul de inteligență generală a lui Wechsler etc) și nonverbale, în care sarcina de rezolvat este codificată într-o formă imagistică, figurală (de exemplu scara nonverbală din testul de inteligență generală a lui Wechsler, matricele progresive Raven, diferite probe pentru determinarea inteligenței tehnice, etc); aplicarea celui de-al treilea criteriu conduce la delimitarea a două mari categorii de teste: de performanță și de personalitate. Primele se caracterizează prin aceea că rezultatele ce se obțin la ele pot fi precis cotate ca bune sau eronate, iar subiecții testați - clasăți neechivoc după scorul total realizat în „foarte buni“, „buni“, „mediocri“, „slabi“, și „foarte slabi“ (de exemplu teste senzorio-motorii, testele de inteligență generală, de inteligență tehnică etc); cele de personalitate au o etalonare mai puțin riguroasă, iar răspunsurile la ele nu pot fi împărțite în „corecte-eronate“, „bune-rele“; subiecții nu se clasifică ierarhic, după „oridinea de merit“, ci se distribuie în grupe tipologice echipoziționale, adică neierarhizabile valoric (de exemplu chestionarele de introversiune-extraversiune, de pulsioni, de preferințe, de interese, de opinie etc.); în fine, cel de-al patrulea criteriu împarte testele în analitice și sintetice. Cele analitice sunt orientate intensiv, spre surprinderea unor laturi, verigi, caracteristici de detaliu ale unei funcții psihice particulare (de exemplu teste de percepție, de memorie, de atenție, de raționament etc.); cele sintetice sunt orientate extensiv, urmărind surprinderea comportamentului global al subiectului într-o situație structural analoagă cu cele reale (cele mai adecvate sunt simulatoare reconstruite după principii cibernetice, care se folosesc astăzi pe scară tot mai largă în selecția profesională).

### **Metoda experimentală și de laborator**

După cum se știe, constituirea psihologiei ca știință s-a datorat, în primul rând, introducerii metodei experimentale, asociată intim cu operațiile măsurării-cantificării și cu cele ale denotabilității obiective. Numai pe baza analizei și interpretării datelor experimentale riguros controlate s-a putut trece de la simple

descrieri fenomenologice, de tip introspecționist, la interpretări și explicații logice, circumscrise exigențelor determinismului obiectiv. Sfera de aplicare și eficiență a experimentului psihologic de laborator a evoluat pe măsura perfecționării structurii probelor, a tehnicilor de măsurare-înregistrare și a bazei lui logice.

În prezent, se poate aprecia că experimentul psihologic a ajuns la un înalt nivel de rafinament și rigurozitate, iar sfera lui s-a extins, practic, asupra tuturor proceselor psihice de la cele mai simple, până la cele mai complexe.

În montarea și desfășurarea unui experiment, se aplică următoarea schemă logică de principiu: 1) formularea neechivocă a problemei de cercetat prin: delimitarea ei în contextul spațiului problematic general; raportarea ei la cercetările anterioare; stabilirea locului cercetării ei în raport cu corectarea altor probleme; relevarea semnificației pentru înțelegerea procesului psihic dat, luat în ansamblu, sau pentru înțelegerea altor fenomene psihice corelate; 2) formularea ipotezei (ipotezelor) de lucru, ca model logico-teoretic anticipativ al răspunsului sau soluției posibile; 3) specificarea tipurilor de variabile independente (V I) și a regimului de administrare și înregistrare a lor; 4) specificarea variabilelor „răspuns” în plan comportamental (R) și a procedurii de cantificare-înregistrare a lor; 5) specificarea procesului de prelucrare a datelor; 6) stabilirea corespondențelor între seria categoriilor cantitative (exprimate numeric sau simbolic) și seria categoriilor calitative (exprimate în limbaj psihologic specific); 7) specificarea corespondențelor dintre „variabila-răspuns” de tip comportamental și variabila psihică sau intermediară ( $\Psi$ ), care face obiectul propriuzis al cercetării psihologice.

Gradul de complexitate al metodelor experimentale poate fi diferit, în funcție de natura problemei ce se propune a se cerceta și de disponibilitățile cercetătorului. Astfel, după numărul variabilelor independente vehiculate, se disting experimente unifactoriale (o singură variabilă independentă), multifactoriale (bifactoriale-două variabile independente, trifactoriale-trei variabile independente ș.a.m.d.). În cazul modelelor multifactoriale pe lângă efectele principale determinate de fiecare variabilă independentă în parte, se înregistrează și așa numitele efecte de interacțiune, a căror analiză furnizează întotdeauna o informație suplimentară pentru a dezvălui determinismul real al procesului psihic studiat. În principiu, un model multifactorial este mai eficient din punct de vedere științific decât unul unifactorial, întrucât în sfera fenomenelor psihice determinismul are o structură mai complexă, de tip interacțional, care nu poate fi nici epuizată, nici reprezentată veridic de o singură variabilă independentă.

Din punct de vedere al neuropsihologiei, faptul că un proces psihic se constituie pe baza unei complexe interacțiuni dintre mai multe variabile independente (adesea de modalități diferite) ilustrează că integrarea lui în plan neurofiziologic are un caracter multifazic și dinamic. Cu alte cuvinte, metodele experimentale multifactoriale din psihologie reprezintă una din cele mai importante surse de argumentare a teoriei localizărilor dinamice și plurinivelare.

După modul de dozare și administrare a variabilei independente, delimităm două tipuri de modele experimentale: secvențial-stactice și funcțional-dinamice. Primele se caracterizează prin aceea că din continuumul procesului psihic studiat se relevă doar un singur moment, care, în funcție de conținutul și complexitatea



probei folosite, se poate situa în „segmentul” inferior, mediu sau superior. Asemenea ar fi, de pildă, modelele: studiului memoriei „prin prezentarea unui set de 15 imagini”, sau prin „prezentarea unei liste de 15 cuvinte fără sens”, sau prin „prezentarea unei liste de 20 numere” etc.; studiul gândirii prin proba conceptelor formale (Kaufman-Kasianin, Smoke, Bruner), sau prin „proba de evaluare a veridicității-falsității concluziilor unor silogisme exprimate simbolic”, sau prin „proba interpretării sensurilor unui set de proverbe”, sau prin „proba absurdităților”, sau prin „proba ordonării logice a imaginilor reprezentând diferite secvențe ale unei acțiuni” etc.

Specificul unui model de tip funcțional-dinamic constă în aceea că ne permite să cuprindem un număr mai mare de momente și de aspecte ale continuumului procesului studiat. Acesta se realizează, pe de o parte, prin alcătuirea unui regim mai întins de sarcini sau de itemi în cadrul probei date, de grade de dificultate diferite, iar pe de altă parte, prin studierea unui și aceluiași proces psihic cu ajutorul unui evantai larg de probe (Cronbach, 1970).

Ideal este ca fiecare proces psihic particular să fie explorat pe toată întinderea sa valorică -de la treptele inferioare până la limita superioară- și sub toate laturile sale structurale (comportamentale). Primul obiectiv se obține prin eșalonarea, în ordine crescătoare, a gradelor de dificultate ale itemilor unei probe (de exemplu de diferențiere a culorilor, a înălțimii sunetelor; de memorare a materialului verbal; de clasificare etc.). Cel de-al doilea devine realizabil prin corelarea mai multor tipuri de probe, fiecare tip relevând o latură sau o componentă a procesului studiat. Cu cât un proces este mai complex (adică posedă un număr mai mare de componente), cu atât modelul experimental corespunzător trebuie să cuprindă un număr mai mare de tipuri de probe.

Foarte importantă pentru interpretarea psihologică este alegerea „variabilelor-răspuns” și evaluarea lor. Din punct de vedere structural, acestea sunt de două tipuri: continue, ale căror valori se separă prin intervale infinit divizibile, exprimabile în numere zecimale (de exemplu tipul de latență sau de reacție - TR, intensitatea reacției motorii, viteza de desfășurare a reacțiilor, durata unei reacții etc.) și discrete, ale căror valori se separă prin intervale vide, exprimate în numere întregi (numărul total al răspunsurilor eronate, numărul sarcinilor rezolvate în unitatea de timp dată etc.). Semnificația unităților de măsură (evaluare) a răspunsurilor poate fi perfect determinată, dacă acestea aparțin unei scale-standard universal recunoscută (ca, de pildă, unitățile de măsură a timpului, a presiunii, a energiei etc) sau vag determinate, dacă avem de-a face cu unități de măsură convenționale, stabilite ad-hoc (de exemplu notarea performanțelor la o probă de atenție, de imaginație, de gândire etc.). În cazul al doilea, pentru înțelegerea semnificației unităților alese de către experimentator este necesar un instructaj special de decodare.

După natura lor calitativă, „variabilele-răspuns” le putem împărți în: specifice, cele care se includ ca verigi componente necesare în rezolvarea sarcinii sau probei date, și nespecifice, cele care formează așa-numitul fond comportamental general al subiectului în situația respectivă. Primele ne furnizează informația de bază despre procesul studiat; cele din urmă ne furnizează informația-cadru despre subiect în ansamblu.

În esență, exteriorizarea și obiectivizarea proceselor psihice se realizează în forma: comportamentelor motorii (mișcări legate între ele într-o „schemă-program” subordonat logicii interne a sarcinii-stimul”), comportamentelor verbomotorii (răspunsuri verbale), comportamentelor vegetative (vasoconstricție sau vasodilatație, accelerarea sau răirirea ritmului respirator, accelerarea pulsului, transpirației etc). Cele motorii și verbomotorii au un caracter intenționat și deliberat, subiectul deținând controlul permanent asupra lor și le alege, mai mult sau mai puțin, în cunoștință de cauză, conform planului de abordare și rezolvare a sarcinii experimentale. Cele vegetative au un caracter pur reflex, involuntar, ele fiind declanșate automat de atitudinea subiectului față de sarcină, de modul de percepere și evaluare a semnificației și gradului ei de dificultate. De aceea, înregistrarea lor nu numai că nu denaturează tabloul general al rezultatelor cercetării, dar este indispensabilă pentru înțelegerea lui, mai ales în ceea ce privește baza neurofiziologică a procesului psihic cercetat.

Variabila comportamentală externă (motorie și verbomotorie) se cere a fi analizată ca unitate funcțională a două verigi: veriga instrumentală, sau intermediară, care dezvoltă traiectoria drumului pe care-l urmează subiectul în rezolvarea sarcinii, și veriga finală (terminală) care ne oferă forma concretă de obiectivare a soluției (răspunsului).

Din punct de vedere psihoneurologic, cel mai adecvat este modelul experimental combinat, poliefector, care permite înregistrarea concomitentă a reacțiilor voluntare (motorii și verbomotorii), ca indicatori principali ai procesului psihic considerat, precum și a reacțiilor involuntare însoțitoare, îndeosebi a componentelor neurovegetative și bioelectrice. Aceasta presupune asamblarea într-un tot unitar a experimentului psihologic propriu-zis cu procedeele de captare-înregistrare electrofiziologice. Dintre reacțiile involuntare însoțitoare, o relevanță deosebită pentru evaluarea mecanismelor neurofiziologice și a dinamicii activității psihice o au: 1) vasomotricitatea (vasoconstricția și vasodilatația), înregistrată prin tehnica pletismografiei; 2) reflexul dermogalvanic sau reacția psihogalvanică (RDG) constând în modificarea rezonanței electrice a pielii sub acțiunea stimulilor și solicitărilor externe, precum și ca urmare a disocierii dintre semnul răspunsului comportamental extern și cel al stării (convingerii, dorinței) psihice interne; aceasta se înregistrează cu ajutorul psihogalvanometrului, prin fixarea a doi electrozi - unul pe suprafața palmară, celălalt pe suprafața dorsală a mâinii; se apreciază că reacția psihogalvanică este cea mai sensibilă și redă în modelul cel mai veridic dinamica încărcăturii și laturii afectiv-motivaționale a activității psihice; 3) activismul bioelectric al creierului, înregistrat prin procedeele EEG și ECG (electrocorticografie)

Corelând dinamica acestui activism, parametrii diferitelor ritmuri ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\theta$ ,  $\Delta$ ) cu răspunsurile voluntare prin raportarea la caracteristicile și structura obiectivă a probei psihologice date, putem ajunge la o mai bună aproximare a configurației mecanismelor neurofiziologice ale procesului cercetat. Perspective noi pentru folosirea experimentului combinat au fost deschise de tehnica și modelarea computerizată. Pe lângă faptul că ordinatorul poate fi folosit ca model al creierului, el poate fi, de asemenea, pus în contact direct cu creierul, permițând



captarea și monitorizarea unui mare număr de indicatori ai funcționării acestuia. Se asigură astfel o măsurare mai exactă și o corelare-integrare superioară din punct de vedere științific a datelor.

### Metoda genetică și comparată

Metoda genetică și comparată este cumva simetrica celei aplicate în studiul sistemului nervos. Ea are la bază principiul fundamental al devenirii și evoluției, potrivit căruia organizarea psihică nu trebuie interpretată ca ceva dat, predeterminat și imuabil, ci ca un produs al evoluției filogenetice și ontogenetice. Astfel, cercetarea și explicarea ei obiectiv-științifică reclamă cu necesitate studiul genezei și construirii evolutive. Pentru a înțelege un proces psihic aflat la un anumit nivel de structurare și integrare, trebuie să cercetăm etapele genetice anterioare pe care le-a parcurs. Așa de pildă, dacă am face abstracție de dimensiunea genetică și am aborda gândirea omului adult ca un dat în sine, multe aspecte ne-ar apărea profund enigmatice, multe chestiuni ar rămâne practic insolubile. Dar dacă o considerăm un rezultat al devenirii, al evoluției ontogenetice și, pe deasupra, ne mai adresăm și studiului formelor și stadiilor dezvoltării gândirii la copil (până la limita învecinată cu nivelul la care se situează gândirea adultului), atunci tot ce părea enigmatic, misterios devine inteligibil și riguros explicabil.

Prin aplicarea metodei genetice au putut fi descoperite legi fundamentale ale organizării psihice, fără de care astăzi este de neconceput elaborarea unei teorii psihologice generalizate cu adevărat științifice. Printre acestea, o importanță metodologică majoră, din punct de vedere al psihoneurologiei, o au următoarele: 1) legea dezvoltării; 2) legea interacțiunii dialectice dintre cauzele și factorii externi, pe de o parte, și condițiile interne (inclusiv factorii ereditari), pe de altă parte; 3) legea stadialității; 4) legea heterocroniei; 5) legea heteronomiei.

*Legea dezvoltării* postulează, pe de o parte, caracterul derivat, devenit al psihicului, reclamând astfel includerea în programul cercetării științifice a problemelor privind originea și geneza lui ca fenomen natural, și, pe de altă parte, susține caracterul lui relativ, nedesăvârșit și implicit, variabil, optimizabil și perfectibil, impunând includerea în sfera cercetărilor obiective a procesului obiectiv însuși. Acest proces se desfășoară în două planuri intercorelate: filogenetic-istoric și ontogenetic-individual. Studiul lor comparativ ne permite să determinăm natura, amplitudinea și efectele globale, de ordin calitativ, ale transformărilor pe care le suferă în decursul timpului - timpul istoric sau timpul individual - diferitele componente ale sistemului psihic. Un aspect esențial pe care ni-l relevă legea dezvoltării îl constituie sensul ascendent al transformărilor, desfășurarea lor de la simplu la complex, de al difuz la diferențiat (individualizat), de la inferior la superior, de la organizare slabă, irelevantă la o organizare mai bună, mai relevantă.

Informațiile despre transformările evolutive în planul organizării psihice dobândesc valoarea interpretativ-explicativă cea mai mare atunci când ele sunt nemijlocit corelate cu datele despre dezvoltarea și maturizarea sistemului nervos, a

creierului. O asemenea corelare permite psihoneurologiei două constatări esențiale: 1) între dezvoltarea psihicului și dezvoltarea și maturizarea creierului există un „paralelism“ înalt semnificativ, în sensul că nivelul de organizare a sistemului psihic este funcție de nivelul de organizare structural-funcțională a creierului; 2) particularitățile dinamicii dezvoltării sistemului psihic sunt în mare măsură determinate de „algoritmul“ maturizării creierului.

Legea interacțiunii dialectice dintre cauzele și factorii externi și condițiile interne impune luarea în considerație a următoarelor aserțiuni: procesul devenirii și dezvoltării sistemului psihic este declanșat și determinat, pe toată durata lui, de influențele externe; modul de recepționare, codificare și prelucrare a informației de la nivelul surselor externe depinde și este condiționat de ansamblul factorilor interni ai individului și, în primul rând, de caracteristicile sistemului neuroendocrin, de fondul experienței anterioare și de stările actuale de necesitate (motivație); interacțiunea dintre influențele externe și condițiile interne nu are un caracter liniar și plat, ci unul contradictoriu, dinamic, crescând în complexitate de la un nivel evolutiv la altul; pe măsură ce se dezvoltă și se consolidează, diferitele structuri psihice devin condiții (factori) interne, care participă activ la reglarea raporturilor individului cu lumea externă, dar și la întreg ansamblul de transformări cărora le sunt supuse conținuturile și semnificațiile mesajelor recepționate. Evolutiv, în filoca și în ontogeneză, omul se comută tot mai mult, în planul interacțiunii cu lumea externă, de la o mediere de tip biologic/fiziologic la una eminamete psihologică, în sensul că structurilor psihice le vor reveni rolul principal în reglarea comportamentului.

*Legea stadialității* surprinde caracterul gradual al formării și dezvoltării tuturor funcțiilor și proceselor psihice -nu numai al celor complexe, ci și al celor considerate mai simple. Stadiul ca atare reprezintă un segment pe traiectoria temporală generală a dezvoltării și specificul său este dat de ansamblul transformărilor și achizițiilor calitative, care se înregistrează în organizarea funcției sau procesului considerat.

Stadiile se succed într-o manieră ierarhic-spiralică, după principiul trecerii de la inferior la superior și al subordonării inferiorului de către superior. Distanța dintre cele două stadii va fi marcată de diferențe atât calitative, cât și cantitative. Existența diferențelor calitative atestă ireductibilitatea unui stadiu la altul. Apariția unui stadiu nou, superior este pregătită și își are premisele în stadiile anterioare. Noul stadiu va include în sine, dar într-o formă comprimată și restructurată, și conținuturile stadiilor anterioare, însă el se impune ca dominant în structura și dinamica activității psihice la momentul dat.

Pentru a facilita înțelegerea succesiunii și întinderii în timp a stadiilor, se obișnuiește ca ele să fie corelate și delimitate pe continuumul vârstei cronologice a individului. Un asemenea mod de a proceda este justificat și prin faptul că, în general, dezvoltarea psihică este funcție și de factorul vârstă. Controversabilă este ponderea care se acordă acestui factor în determinarea atât a conținutului stadiilor, cât și a succesiunii lor. Noi considerăm că dinamica dezvoltării nu poate fi interpretată exclusiv în dependență de vârstă, ci ca trebuie corelată și cu procesul învățării controlate, dirijate. Aceasta poate, așa cum au demonstrat cercetările



experimentale, să introducă modificări semnificative în durata stadiilor și în conținutul lor.

În funcție de sfera de cuprindere, stadiile pot avea un caracter global, ele referindu-se la dinamica sistemului integral al personalității, sau unul parțial, definind dinamica dezvoltării unei anumite componente a organizării psihice - intelectuale, afective, motivaționale etc.

Important de subliniat este faptul că trecerea de la un stadiu la altul în planul dezvoltării psihocomportamentale este susținută și, implicit, corelată cu trecerea de la un nivel inferior la altul superior în organizarea structural-funcțională a creierului: mielinizarea, stabilirea conexiunilor interneuronale selectiv-orientate, maturizarea și intrarea succesivă în funcțiune a zonelor asociativ-integrative ale scoarței cerebrale (secundare, terțiare, cuaternare etc., Luria, 1962, 1973 a,b; Eccles, 1977), elaborarea echilibrului funcțional cortico-subcortical etc.

De aici iese mai mult în evidență caracterul dinamic și constituibil (devenit) al mecanismelor activității psihice. Astfel, este în afara oricărei îndoieli faptul că trecerea de la un stadiu inferior la altul superior în planul dezvoltării psihice are la bază trecerea la o altă configurație (mai complexă) a mecanismelor în plan neurofiziologic. În nici un caz nu ne putem aștepta ca la baza stadiului gândirii operatorii concrete (cuprins, potrivit cercetărilor lui Piaget, între 7 și 11 ani) să stea același mecanism neurofiziologic ca și la baza stadiului gândirii operatorii formal-abstracte (care să constituie, potrivit datelor autorului citat, între 11 și 14 ani). De asemenea, dinamica sferei emoțional-afective la stadiul preadolescenței (10-12 ani) se bazează pe o altă formulă de interacțiune corticosubcorticală decât la stadiul adultului.

Din punct de vedere psihoneurologic, este important de subliniat, de asemenea, gradul diferit de consolidare neurofiziologică a structurilor psihice proprii diferitelor stadii evolutive. Întrucât, așa cum am arătat, apariția unui stadiu nou, superior nu duce la abolirea totală a conținuturilor stadiilor anterioare (inferioare), acestea fiind integrate într-o nouă schemă generală de organizare, sub aspect neurofiziologic, ele vor dobândi o consolidare mai puternică, ceea ce le conferă o rezistență mai mare la perturbații. Aici își găsește confirmarea principiul neurologic al lui Jackson, potrivit căruia, în cursul evoluției, integrarea se desfășoară de la inferior la superior (funcțiile inferioare, simple se integrează mai devreme și se consolidează mai puternic, iar cele superioare se integrează mai târziu, situându-se la un nivel de consolidare mai scăzut), iar în cursul involuției și în situația unor afecțiuni patologice, procesul se desfășoară în sens invers, primele se dezorganizează funcțiile superioare și ultimile cele inferioare.

*Legea heterocroniei* surprinde un aspect esențial al dinamicii dezvoltării psihocomportamentale. Ea postulează că diferitele funcții, procese și structuri psihice se constituie și se consolidează la momente diferite de timp. De exemplu, constituirea și consolidarea mecanismelor și structurilor perceptive se realizează înaintea constituirii și consolidării structurilor gândirii: activitatea de joc precede pe cea de învățare (organizată), iar aceasta precede activitatea de muncă ș.a.m.d.

Aceasta impune ca în analiza sistemului psihic să se aproximeze nu numai aspectele de stare, ci și cele de transformare (dinamică), relevându-se atât „distanța

parcursă“ pe traiectoria dezvoltării de către fiecare componentă în parte, cât și cea care a mai rămas a fi parcursă până la „punctul“ organizării optime.

*Legea heteronomiei* reflectă caracterul eterogen și contradictoriu al dezvoltării psihice. Ea postulează două relații la fel de importante. Prima: în interiorul sistemului psihic individual, diferitele lui componente ating niveluri diferite de dezvoltare și consolidare. De exemplu: percepția vizuală poate fi superior dezvoltată comparativ cu percepția tactilă sau gustativă; memoria imagistică poate fi mai bine dezvoltată decât memoria verbală; gândirea de tip concret poate fi mai bine dezvoltată decât cea de tip abstract; memoria se poate situa la un nivel mai înalt de elaborare și eficiență decât gândirea etc. Aceasta face ca fiecare individ să dispună de o anumită selectivitate în raporturile sale cu mediul și să aibă verigile sale „puternice“ și verigile sale „slabe“ în ceea ce privește modul de abordare-rezolvare a diferitelor solicitări. Aceasta reclamă ca cunoașterea psihologică să se subordoneze cerinței particularizării și să evidențieze în prim plan acele componente și structuri care se situează la nivelul cel mai înalt de dezvoltare și care definesc traiectoria comportamentului individului respectiv. Din punct de vedere al orientării și selecției profesionale, fiecare persoană trebuie valorificată prin prisma acelor trăsături, componente și structuri care sunt cel mai bine dezvoltate, și nu prin prisma celor slab elaborate sau deficitare.

A doua: una și aceeași funcție sau structură poate avea niveluri diferite de dezvoltare-consolidare-eficiență la doi sau mai mulți indivizi. Practic, este imposibil de găsit două organizări psihice individuale identice. Aceasta impune ca pentru deteminarea caracteristicilor esențiale generale ale unei funcții (proces) să fie cercetat nu doar un singur individ, ci un număr mare de indivizi, diferiți ca vârstă și sex. Existența unui registru întins de deosebiri psihice interindividuale a făcut necesară nu numai includerea în arsenalul metodologic a analizei comparate, dar și delimitarea și dezvoltarea unei ramuri particulare noi a psihologiei -psihologia diferențială. Aceasta își propune nu numai simpla măsurare și evaluare a deosebirilor psihice interindividuale, ci și studiul factorilor care le condiționează. Cercetările efectuate au demonstrat că ele au la bază nu numai deosebiri în configurația structurală a mediului extern în care se integrează indivizii, ci și deosebiri în configurația mediului intern, și mai cu seamă în organizarea anatomofiziologică a creierului. Se poate astfel formula ipoteza că, deși subordonată unei scheme de principiu comune, integrarea neurofiziologică a funcțiilor și proceselor psihice dobândește, în ultimă instanță, un caracter individual, specific.

### **Metoda logico-matematică, logico-formală și cibernetică**

Metoda logico-matematică, logico-formală și cibernetică asigură psihoneurologiei un progres cu adevărat remarcabil.

În prezent psihoneurologia beneficiază de aportul metodelor moderne cu aplicabilitate generală în fundamentarea și desfășurarea cunoașterii contemporane.



Aceste metode conduc la modificarea calitativă a însăși viziunii generale în abordarea și interpretarea fenomenelor. Esențial pentru înțelegerea aspectelor calitative ale creierului este nu atât substanțialitatea în sine a elementelor anatoomstructurale, cât mai ales relațiile funcționale dintre acestea, logica transformărilor și combinațiilor pe care le efectuează sub diferite ansambluri neuronale.

S-a demonstrat astfel că realizarea unor procese informaționale complexe, cum sunt de pildă procesele gândirii, nu sunt în mod absolut legate de un anumit suport substanțial-calitativ: aceleași operații de prelucrare-interpretare-utilizare a informației pot fi efectuate cu ajutorul unor mecanisme diferite din punct de vedere substanțial-calitativ (creierul, pe de o parte și calculatorul electronic pe de altă parte).

Esențială pentru obținerea unei funcții informaționale de genul celor fiziologice și psihice, nu este numai structura creierului și specializarea operațională, ci și transformările care se efectuează asupra informației extrase, care se desfășoară după o anumită logică impusă de legile evoluției organismului, ale adaptării și echilibrului optim (toate legi ale negentropiei, organizării). Creierul, în ansamblul lui deși este astăzi interpretat ca sistem logo-informațional, conține și câmpuri bioenergetice care nu pot fi puse în evidență prin metodele fizice actuale.

Drept coordonate fundamentale de definiție ale creierului ca sistem sunt considerate următoarele: a) caracterul dinamic; b) caracterul deschis; c) caracterul probabilist; d) caracterul autoreglabil și autoorganizabil; e) caracterul hipercomplex.

a) Caracterul dinamic exprimă dependența stării creierului de factorul timp  $S = f(t)$ . Aceasta înseamnă că, pentru a înțelege și explica starea lui la momentul actual de timp, trebuie să luăm în considerare stările lui la momentele anterioare. Din punct de vedere matematic, funcționarea creierului poate fi descrisă cu ajutorul aparatului ecuațiilor diferențiale, de tipul: unde schimbarea fiecărei coordonate  $Q_i$  este în funcție de toți ceilalți parametri,  $Q$ , de la  $Q_1$  la  $Q_n$ , și invers, schimbarea oricărei  $Q_i$  atrage după sine schimbarea tuturor celorlalte coordonate și a sistemului în ansamblu (Bertalanffy, 1966).

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dQ_1}{dt} = f_1(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \\ \frac{dQ_2}{dt} = f_2(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dQ_n}{dt} = f_n(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \end{array} \right.$$

Din punct de vedere cibernetic, coordonata dinamicului reclamă corelarea, în descrierea creierului, a procedului profilului de stare cu cel al profilului fazic.

În general, prin noțiunea de stare se înțelege totalitatea valorilor coordonatelor de definiție ale sistemului la momentul dat. Alcătuirea profilului de stare reclamă:

- identificarea principalelor coordonate de definiție ale sistemului (în cazul creierului asemenea coordonate ar fi: proprietățile naturale înnăscute ale proceselor nervoase fundamentale - excitația și inhibiția, și anume: forța, echilibrul și mobilitatea, determinate prin procedee fiziologice speciale; capacitatea de recepționare și prelucrare a informației, determinată prin probe psihologice și reflexologice; integritatea structurală determinată prin procedee biomedicale (clinice); interacțiunea corticosubcorticală determinată prin procedee psihofiziologice).

- stabilirea unităților de măsură și a semnificației lor denotative.  
- existența unui etalon de referință pentru aprecierea stării actuale din punct de vedere al echilibrului optim.

Portretul fazic exprimă dinamica sistemului în succesiunea momentelor temporare ( $t_1-t_n$ ). El rezultă din compararea și corelarea profilelor de stare. Notând cu  $E_i$  profilele de stare, definite la momentele de timp ( $t_i$ ); portretul fazic „ $\Omega$ „. Poate fi exprimat simbolic prin următoarea relație:

$$\Omega = f \bigcup_{i=1}^n E_i(t_1 - t_n)/P, T$$

unde P și T reprezintă ansamblul condițiilor logice și al operatorilor care mediază trecerea de la un profil de stare la altul.

Dinamismul creierului trebuie privit ca expresia a două tipuri de condiționări: interne (endogene), care țin de faptul că oricărei organizări materiale, și cu atât mai mult materiei vii, îi este proprie mișcarea, transformarea ca atribut intrinsec, și externe (exogene), rezultând din interacțiunea și comunicarea creierului cu celelalte subsisteme ale organismului și cu factorii mediului extern.

b) Caracterul deschis derivă din apartenența creierului la categoria sistemelor vii. El exprimă faptul că pentru a ființa și a-și menține specificul organizării sale structural-funcționale, creierul trebuie să efectueze schimburi cu mediul înconjurător. Ca orice sistem viu, creierul realizează cu mediul toate cele trei grupuri majore de schimburi: de substanță, de energie și de informație.

Starea și funcționarea lui se cer, deci, a fi analizate și interpretate ca rezultate integrate ale complexelor interacțiuni și intercondiționări dintre cele trei genuri de schimburi și dintre transformările care le sunt proprii. Desigur, pentru psihoneurologie, esențială este analiza schimburilor de ordin informațional, întrucât ele definesc rolul creierului ca organ al activității psihice. De aici decurge posibilitatea și chiar necesitatea aplicării în studiul atât al creierului în ansamblu, cât și al diferitelor sale componente a aparatului teoriei comunicării și informației. Stimulii din mediul intern și cel extern al organismului ne apar în acest caz, drept surse de informație, iar varierea în timp a valorilor însușirilor lor (intensitate, formă, greutate, temperatură, frecvență) - ca emiteri de mesaje sau informație; captarea acțiunii lor de către aparatele receptoare (senzoriale) și transferul pe suportul influxului nervos prin modularea (variarea) amplitudinii, frecvenței și fazei lui reprezintă ansamblul operațiilor de codare a informației; structurile neuronale propriu-zise efectuează operațiile de prelucrare-integrare a informației în coduri psihice de tipul imaginii, schemei, conceptului și trăirii. Stocate și păstrate în mecanismele memoriei, pe suport biochimic, acestea vor alcătui, prin articulare și



sistematizare, conținutul intern al vieții psihice. În prelucrarea și integrarea informației, creierul nu utilizează numai programele înăscute. La nivelul omului, o pondere și mai mare o dobândesc programele elaborate social istoric și asimilate de individ din afară, în procesul învățării spontane sau organizate. Asimilarea acestui gen de programe ridică la un nivel calitativ atât de înalt funcționalitatea creierului nostru, așa cum se concretizează ea în planul activității psihice.

c) Caracterul probabilist exprimă complexitatea relațiilor funcționale dintre cele două mulțimi mari de definiție ale comportamentului creierului ca sistem dinamic deschis - mărimile de intrare ( $X_m$ ) și mărimile de ieșire ( $Y_n$ ).

Spre deosebire de așa-numitele sisteme rigid-determinate, în cadrul cărora răspunsurile (ieșirile) sunt efectul univoc al acțiunii influențelor externe (intrărilor), creierul pune în evidență o dependență mai mult sau mai puțin aleatoare între intrare-ieșire, care nu poate fi aproximată decât cu ajutorul funcțiilor de probabilitate. Aceasta înseamnă, că fiind dată o anumită mărime de intrare (un stimul, o sarcină, un item dintr-un test etc.) noi nu putem spune (prevedea) cu exactitate ce mărime de ieșire (răspuns) se va obține.

Între stimulul și reacția de răspuns a creierului (și implicit a individului) nu există un raport de corespondență biunivocă, așa cum postula modelul mecanicist al behaviorismului watsonian. La unul și același stimul, la unul și același individ, în momente diferite de timp, sau la mai mulți indivizi la același moment de timp, se pot înregistra răspunsuri diferite, după cum nu este exclusă nici posibilitatea inversă: la mai mulți stimuli, în momente diferite de timp, să se obțină același răspuns. Prin urmare, ieșirea se leagă de intrare nu printr-o funcție de transformare univocă și liniară, ci printr-o funcție aleator variabilă, probabilistă:

$$X \xrightarrow{P} Y, p(X) \neq p(Y)$$

Între cele două mulțimi de mărimi (de intrare și de ieșire) se interpune acțiunea greu sau imposibil controlabilă a celei de-a treia mulțimi de mărimi, mărimile de stare ( $Z_p$ ) a căror complexitate se amplifică, am putea spune în progresie geometrică, o dată cu maturizarea structural-funcțională a creierului și cu dezvoltarea psihică generală a individului.

Așadar pentru a descrie tabloul comportamental al sistemului neuronal la un moment dat ( $t_i$ ), trebuie să cunoaștem nu numai mărimile de intrare și mărimile de ieșire, ci și pe cele de stare. Dar aceasta este o sarcină destul de dificilă deoarece, caracterizând organizarea internă a creierului, mărimile de stare sunt practic inaccesibile observației și măsurării directe.

Suntem astfel nevoiți ca evaluarea intervenției lor s-o facem indirect, prin corelarea intrărilor și ieșirilor.

Putem considera, în virtutea principiului evoluției că o bună parte din elementele mulțimii mărimilor de stare este rezultatul sedimentării și integrării în timp a imaginii mărimilor de intrare și a efectelor adaptative (reglatorii) ale mărimilor de ieșire (răspunsurilor).

d) Caracterul autoreglabil și autoorganizabil exprimă, cel mai pregnant natura informațională a activității creierului ca sistem cibernetic.

Întreaga lui organizare funcțională are la bază principiul conexiunii inverse. De aceea, în cursul analizei psihoneurologice, se impune să delimităm, relativ, două blocuri funcționale principale: blocul de comandă (C), care prelucrează informația recepționată din mediul extern și din cel intern al organismului și elaborează modelul (proiectul, programul, planul) acțiunii de răspuns și blocul de execuție (E), care finalizează programele de acțiune, emițând comenzi și punând în funcțiune aparatele de execuție corespunzătoare. Se relevă, deci, imediat, o legătură directă de la blocul de comandă la cel de execuție; starea și activitatea celui din urmă este în funcție de starea și activitatea celui dintâi ( $E=f(C)$ ). Dar activitatea creierului nu s-ar putea desfășura în mod normal dacă nu s-ar realiza legătura și în sens invers, de la blocul de execuție la cel de comandă ( $C \leftarrow E$ ). Aceasta face posibil controlul asupra efectelor adaptative ale răspunsurilor, adică autoreglarea. După specificul influenței exercitate asupra stării generale de echilibru a creierului, conexiunea inversă este de două feluri: negativă și pozitivă.

Conexiunea inversă negativă acționează întotdeauna în direcția menținerii unor coordonate (de ordin biofizic, biochimic, și psihofiziologic) în limitele unor valori date, cerute de o anumită formă de echilibru a sistemului. Efectul ei este, deci, eminent stabilizator, homeostatic, îndreptat spre diminuarea sau anularea oscilațiilor (deviațiilor) de la starea respectivă de echilibru. Un asemenea gen de feedback stă, de pildă, la baza reglării raporturilor funcționale dintre diferitele structuri și formațiuni ale creierului, dintre zonele gnostice (posteroare) și cele motorii (anterioare) ale scoarței cerebrale, dintre scoarța cerebrală și formațiunea reticulată, dintre scoarța cerebrală și formațiunile subcorticale, dintre sistemul activator și inhibitor ale formației reticulate, dintre centrii motori medulari care formează mecanismul inervației reciproce al comportamentului locomotor etc.

Conexiunea inversă pozitivă acționează în direcția creșterii (amplificării) deviației (ecartului) valorilor coordonatelor de definiție ale sistemului, augmentând cu fiecare moment de timp, cu o anumită rație, efectul mărimilor de intrare. Raportat la obiectivele reglării sistemului, efectul feedback-ului pozitiv este de două feluri: antientropic, evolutiv și entropic, perturbator.

În primul caz, funcționarea la diferite niveluri infra și macrostructurale, cortical și subcortical etc. a mecanismului feedback-ului pozitiv antientropic asigură desfășurarea proceselor de organizare -maturizarea biologică, formarea și exersarea legăturilor funcționale intracerebrale, achiziția noilor tipare ale activității reflexe (învățarea) etc.; în cazul al doilea, feedback-ul pozitiv se leagă de apariția și dezvoltarea proceselor de dezorganizare structural-funcțională a creierului (focare tumorale expansive, fenomene de involuție etc.).

Atât funcționarea normală a creierului, cât și disfuncționalitatea lui ne apar astfel ca rezultat al unei complexe interacțiuni între aceste două tipuri fundamentale de feedback și între formele de reglare (autoreglare) pe care le susțin ele: reglarea de stabilizare, reglarea de optimizare, reglarea de dezvoltare. Orice neîmplinire sau perturbare în desfășurarea acestor forme de autoreglare se traduce printr-o disfuncție, prin apariția unui gen sau altuia de patologie cerebrală. Comparativ, se poate afirma că creierul uman este cel mai complex și, totodată, cel mai evoluat sistem cu autoreglare și autoorganizare din toate sistemele reale cunoscute nouă până în prezent.



e) Caracterul hipercomplex al creierului uman se evidențiază atât în plan anatomo-structural, cât și funcțional. Complexitatea anatomo-structurală rezidă în numărul foarte mare al elementelor neuronale componente (peste 40 miliarde) și în volumul încă mai mare al conexiunilor interneuronale ( $C_x = N(N-1)$ ). Aceasta face practic imposibilă menținerea simultană sub observație și control a tuturor neuronilor, a tuturor conexiunilor și stărilor lor în cursul cercetării (Wooldridge, 1963).

Complexitatea funcțională rezidă în extraordinara diversitate și multitudine de operații de prelucrare-integrare a informației, de comandă, execuție și reglare (control), care se realizează la nivelul neuronilor, rețelelor neuronale și marilor formațiuni neuronale. Se pare că la nivelul nici unei alte structuri componente a organismului nostru nu există o mai mare diversitate și eterogenitate funcțională ca la nivelul sistemului nervos, al creierului. Aceasta face dificilă investigarea nemijlocită și surprinderea tabloului funcțional general pe baza unor secvențe izolate. Devine astfel și obiectiv necesară și legitimă introducerea unor metode cu caracter mijlocit și global, care să facă posibilă urmărirea stării și dinamicii activității cerebrale în ansamblu, ca organizare sistemică. Printre cele mai importante sunt „metoda cutiei negre”, „metoda analizei binare și modelării logico-formale” și „metoda analogiei și simulării computerizate”.

Metoda cutiei negre (black box) se întemeiază pe necesitatea de a face abstracție de structura internă a sistemului abordat, care, oricum nu este accesibilă observației directe și de a centra investigația pe cele două verigi extreme ale lui: veriga de intrare și veriga de ieșire. În cazul creierului, în calitate de veriga de intrare se consideră influențele și stimulii administrați din afară; veriga de ieșire, la rândul ei, va fi dată de ansamblul răspunsurilor la stimulii prezentați. Se consideră că răspunsurile vor fi, în principiu, în funcție de stimuli ceea ce înseamnă că rolul operațional al structurilor interne rezidă, în esență, în a transforma mărimile de intrare în anumite mărimi de ieșire.

Se spune că vom reuși să facem o descriere corespunzătoare comportamentului sistemului cercetat (în cazul de față - creierul), dacă reușim să dezvăluim și să exprimăm cât mai exact, dacă se poate matematic, tipul de funcție (operator) care leagă intrarea și ieșirea și să formulăm, pe această bază, judecăți de predicție (certe sau probabiliste) cu privire la stările și dinamica viitoare ale sistemului. Pentru ca metoda cutiei negre să devină cât mai eficientă se cere a fi satisfăcut un set de condiții logice adică strategia cutiei negre, în care intră: a) selectarea, dozarea și controlarea riguroasă a mărimilor de intrare (stimulii); b) urmărirea și înregistrarea cu fidelitate a mărimilor de ieșire (răspunsurile); c) căutarea și identificarea tipului și specificului relației de dependență ieșire-intrare; d) căutarea ca, pornind de la starea actuală a sistemului, să se aproximeze starea la momentele următoare de timp; verificarea veridicității predicțiilor și formularea în final a legii variației în timp a sistemului; e) pornind de la tabloul comportamental global extern al sistemului găsește criterii și procedee pentru a releva ponderea și rolul în realizarea lui, a componentelor interne transformând treptat cutia neagră de la care s-a pornit inițial în cutia albă.

După cum am văzut, în cazul creierului, ieșirea nu se leagă în mod cauzal univoc de intrare, ci după o funcție de tip probabilistic. Ca urmare, pentru a dezvălui legitatea transformării stimulilor de la intrare în răspunsuri la ieșire, nu este suficientă o singură măsurare (înregistrare), ci un număr mult mai mare, statistic semnificativ de măsurători.

Pentru a determina valoarea logică a timpului de reacție a unui singur individ, este necesar un număr de minim 30 de măsurători. Dacă dorim să aproximăm valoarea acestui indicator caracteristică pentru o întreagă populație, este necesară extinderea operației de măsurare asupra unui eșantion a cărui mărime trebuie să fie proporțională cu mărimea populației. Lucrurile se complică și mai mult atunci când trecem la determinarea unor laturi mai complexe ale activității creierului (de exemplu volumul percepției, concentrarea și mobilitatea atenției, quotientul de inteligență generală, indicele de performanță în rezolvarea diferitelor tipuri de probleme etc). De aici rezultă că datele despre organizarea și dinamica funcțională a creierului pe care le obținem în cercetări experimentale sau clinice pe cazuri individuale au un caracter relativ, și nu absolut, neputând deci fi generalizate la toate cazurile posibile și în toate situațiile. Pentru a le conferi relevanță și valoare științifică generală, trebuie să le supunem în prealabil unor prelucrări și testări statistice adecvate.

Metoda analizei binare și modelării logico-formale a fost introdusă în studiul creierului tot sub influența teoriei generale a sistemelor și ciberneticii. Mai întâi trebuie să observăm că principiul binarității căruia cibernetica i-a conferit generalitate și aplicabilitate în studiul diferitelor tipuri de sisteme a fost pus în evidență în neurofiziologie, fiind cunoscut sub denumirea legii „tot sau nimic” (Bodwitch, 1870).

În esență, acest principiu postulează necesitatea simplificării, în studiul sistemelor dinamice complexe, prin reducerea multitudinii stărilor lor posibile, la două stări fundamentale: a) starea activă, de funcționare, de emitere a răspunsurilor la influențele externe, și b) starea pasivă de repaus, de absență a răspunsurilor la incitățile externe. Reținând doar aceste două stări extreme, în studiul sistemului pot fi aplicate procedee de formalizare logică, folosind, cu precădere, aparatul logicii booleene. Se presupune astfel că o activitate informațională complexă poate fi descompusă în operații simple și descrisă astfel pe baza operațiilor logicii simple (conjuncției, disjuncției, negației etc) și a combinării lor.

Primii care au elaborat un model logico-formal, bazat pe principiul binarității, al funcționării creierului au fost savanții americani Mc Culloch (neurofiziolog) și Pitts (specialist în logica matematică). Pornind de la conceptele de neuroni biologici și de rețea neuronală biologică, ei au elaborat conceptele de „neuron formal” și „rețea neuronală formală,,.

Funcționarea de ansamblu a creierului se interpretează prin prisma operatorilor logici menționați și se descrie printr-un set ordonat de propoziții și teoreme.

Activitatea creierului este interpretată ca expresie a funcționării conjugate a două clase mari de rețele: deterministe și probabiliste.

Primele corespund zonelor pregnant diferențiate și specializate din punct de vedere funcțional, cum sunt, zonele de proiecție topică ale scoarței cerebrale; iar cele din urmă caracterizează zonele polifuncționale și combinatorice.

Avantajul modelării logico-formale rezidă în aceea că permite o mai adecvată surprindere a aspectelor de ordin psihologic ale activității creierului și, implicit, o înțelegere mai profundă a specificului raportului general psihic-substratul neuronal.

Metoda analogiei și simulării computerizate este introdusă în psihoneuro-



logie din cibernetică. Inițial, psihologia și neurologia au constituit sursele de inspirație pentru conceperea și realizarea unor analogii, mai întâi în plan teoretic, iar apoi în plan practic-concret care să reproducă, sub aspect logico-operational, procese informaționale, de comandă-control, proprii creierului uman. Așa a apărut și s-a dezvoltat în ritm deosebit, pe fundamentul ciberneticii generale, tehnica așa numitelor creiere și inteligențe artificiale.

Analiza structurală a blocurilor componente ale calculatorului și a programelor pe care le performează el facilitează efortul de descifrare și explicare a modului de funcționare a creierului uman și de elaborare a proceselor psihice. Este de așteptat ca în viitor, pe măsură ce asemenea programe se vor perfecționa, va spori și eficiența metodei analogiei și simulării, în cunoașterea activității cerebrale (Braines și Svencinski, 1968).

Dar oricât de departe va ajunge perfecționarea structurii tehnice interne a calculatoarelor, a hardware-ului și software-ului relația de analogie cu creierul uman nu va putea trece în relație de identitate; vor rămâne în continuare deosebiri calitative ireductibile, care vor reclama perfecționarea în continuare a procedeeleor de investigare a creierului în direct.

Conglomeratul celor 40 miliarde celule de la nivelul sistemului nervos central, conexiunea fiecărei celule cerebrale cu alte aproximativ 9000 celule, transmiterea combinată electrică și chimică a influxului nervos și existența unei alte forme de bioenergie cerebrală care intervine în fenomenele parapsihologice, neelucidată încă, face deocamdată imposibilă asimilarea activității calculatoarelor cu ceea ce se petrece la nivel cerebral.